

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

« ____ » _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Карпіку Богдану Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційного проекту: Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 1600 кВт

Керівник проекту: асистент Вітер Дмитро Володимирович

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

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

3. Вихідні дані до проекту Генеральний план підприємства, план розташування обладнання, відомості про електроприймачі підприємства

(номінальні параметри, режими роботи, категорія по надійності електропостачання), класи пожежонебезпечних і вибухонебезпечних зон об'єктів, умови компенсації реактивної потужності, час споживання максимальної потужності, інформація про джерело живлення.

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

1. Коротка характеристика об'єкту проектування.

2. Основні проектні рішення.

3. Електропостачання насосної станції.

4. САПР.

5. Електробезпека.

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

1. Генеральний план підприємства.

2. Однолінійна схема електропостачання.

3. План розміщення обладнання.

4. Схема керування електроприводом засувки насосного агрегату.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Коротка характеристика об'єкту проектування	Вітер Д.В.		
2. Основні проектні рішення	Вітер Д.В.		
3. Електропостачання насосної станції	Вітер Д.В.		
4. САПР	Вітер Д.В.		
5. Електробезпека	Вітер Д.В.		

7. Дата видачі завдання 3 січня 2026 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

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

8. Затвердження відповідності графічного матеріалу вимогам нормативних документів

№ з/п	Назва креслення	Підпис	Дата
1	Генеральний план підприємства		
2	Однолінійна схема електропостачання		
3	План розміщення обладнання		
4	Схема керування електроприводом засувки насосного агрегату		

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Карпінк Б.В.)
(прізвище, ініціали)Керівник
кваліфікаційного проекту

(підпис)

(Вітер Д.В.)
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Карпик Б.В. Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 1600 кВт. Рукопис.

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

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

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

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

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

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

ANNOTATION

B. Karpik. Electricity supply to the building materials plant with an installed capacity of 1600 kW. Manuscript.

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

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

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

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

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

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	11
2.1. Розрахунок силових електричних навантажень.....	11
2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	12
2.3. Визначення результуючих навантажень.....	13
2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень.....	14
2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів ТП з врахуванням компенсації реактивної потужності.....	15
2.6. Компенсація реактивної потужності.....	16
2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях.....	17
2.8. Проектування мережі живлення підприємства.....	17
2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі.....	18
2.10. Розрахунок струмів короткого замикання.....	20
2.11. Вибір обладнання.....	22
2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв.....	22
2.11.2. Вибір роз'єднувачів.....	23
2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників.....	23
2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху.....	24
2.12.1. Вибір схеми електропостачання.....	24
2.12.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ.....	25
2.12.3. Вибір трансформаторів струму.....	29

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 1600 кВт. Пояснювальна записка.					
Розроб.	Карпик Б.В.									
Перевір.	Вітер Д.В.									
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.									
Затверд.	Волинець В.І.				Літ. Арк. Аркушів 6 72 ФАБЕ, гр.ЕЕ-41					

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів.....	30
2.12.5. Вибір рубильників.....	31
РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ.....	32
РОЗДІЛ 4 САПР.....	35
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	38
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	39
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	40
ДОДАТОК 1 ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ.....	43
ДОДАТОК 2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ.....	64
ДОДАТОК 3 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА.....	71

ВСТУП

Вимоги до систем електропостачання промислових підприємств регламентуються правилами улаштування електроустановок [1] та галузевими стандартами. В [2, 3] наведено методики, рекомендовані для проєктування таких систем з метою забезпечення безперебійності живлення, якості електричної енергії, економічності, безпеки експлуатації та можливості розвитку.

Більшість струмоприймачів заводів будівельної галузі належать до II категорії надійності електропостачання, тобто передбачають живлення від двох незалежних джерел. Для II категорії ввімкнення резервного джерела виконується вручну [1].

Для підтримання якості електричної енергії рекомендоване встановлення конденсаторних батарей високої або низької напруги, які здійснюватимуть компенсацію реактивної потужності. Такий захід дозволяє підвищити коефіцієнт потужності підприємства, розвантажити його мережі та зменшити втрати напруги.

Для систем електропостачання, що містять одну або декілька трансформаторних підстанцій з коефіцієнтом трансформації 10/0,4 кВ, регулювання напруги може бути забезпечене пристроями ПБЗ (перемикання без збудження), встановленими безпосередньо в силових трансформаторах. Також на рівень напруги можна впливати зміною рівня компенсації – для цього використовуються конденсаторні батареї.

Оптимальне розміщення трансформаторної підстанції, вибір трансформаторів та кабельних ліній, для яких співвідношення капітальних вкладень та експлуатаційних витрат є мінімальним, забезпечує економічність проєктованої системи.

Обладнання будівельних заводів, що обирається, повинне мати належний рівень пило- та вологозахисту.

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

Загальну класифікацію будівельних матеріалів наведено на рисунку 1.1.

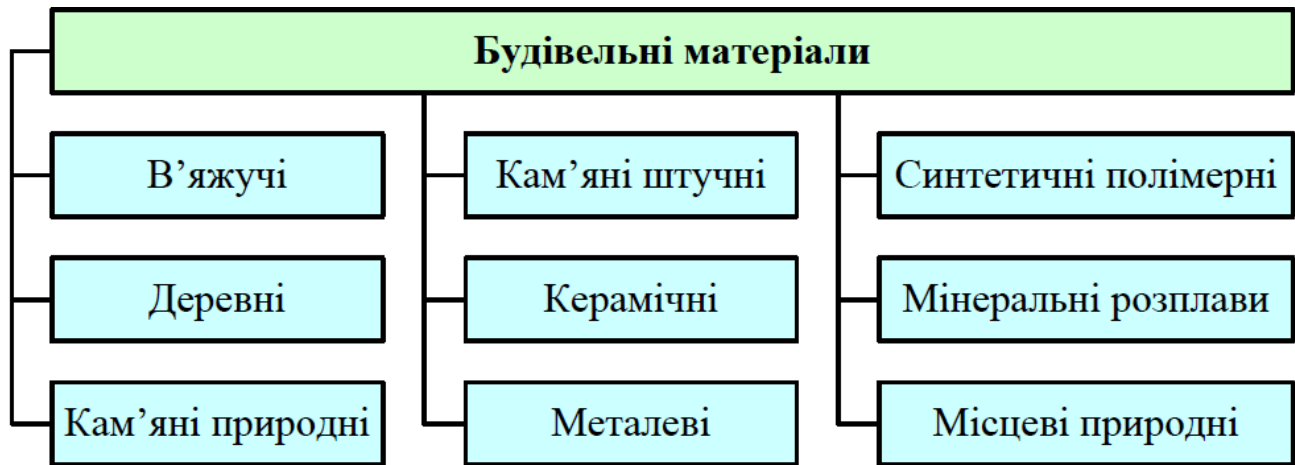


Рисунок 1.1 – Класифікація будівельних матеріалів

Структуру проєктованого заводу будівельних матеріалів наведено на рисунку 1.2.

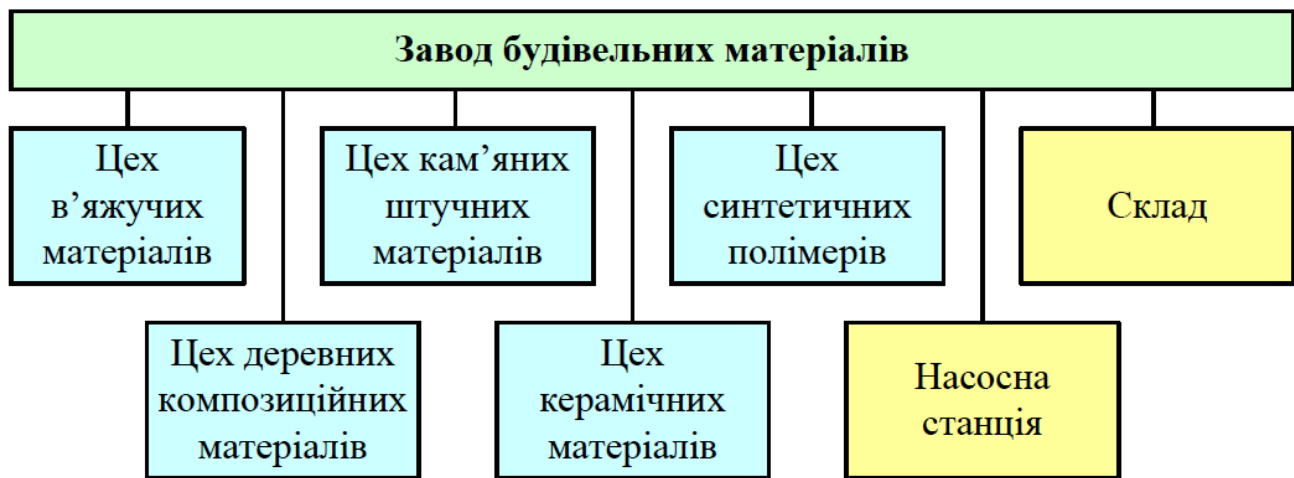


Рисунок 1.2 – Структура заводу будівельних матеріалів

Підприємствам будівельної галузі притаманні такі особливості: локалізація поблизу місць видобування природних будівельних матеріалів; значна встановлена потужність; підвищена запиленість приміщень виробничих цехів; наявність постійних вібрацій.

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Карпик Б.В.				Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 1600 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Вітер Д.В.						9	2
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		
Затверд.	Волинець В.І.							

Таблиця 1.1 – Вихідні дані

Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення
Кількість змін	–	2
Тривалість роботи електрообладнання в рік τ	год.	4260
Час використання максимального навантаження $T_{\max}$	год.	2315
Джерело живлення	–	РП-10 кВ
Відстань до джерела l	км	3,7
Потужність короткого замикання на шинах джерела живлення $S_{\text{кз}}$	МВА	60,2
Вхідна реактивна потужність $Q_{\text{е max}}$	кВАр	274
Загальна територія підприємства	м ²	30960
Категорія надійності споживачів: I (пристрої пожежної сигналізації, евакуаційне освітлення) II (приймачі основних виробничих <u>цехів</u>) III (приймачі складу, приймачі, що виконують допоміжні функції)	% % %	0,4 76,5 23,1

Таблиця 1.2 – Характеристики цехів заводу

Назва об'єкту	Розміри будівлі			Встановлена потужність, кВт
	Довжина, м	Ширина, м	Площа будівлі, м ²	
1. Цех в'яжучих матеріалів	60	48	2880	280
2. Цех деревних композиційних матеріалів	60	30	1800	290
3. Цех кам'яних штучних матеріалів	84	30	2520	295
4. Цех керамічних матеріалів	72	30	2160	250
5. Цех синтетичних полімерів	72	24	1728	235
6. Насосна станція	42	24	1008	211
7. Склад	48	30	1440	39
Всього			13536	1600

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 1600 кВт. Пояснювальна записка.			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Карпик Б.В.								11	21
Перевір.		Вітер Д.В.									
Н. контр.		Вашелюк Ю.І.									
Затверд.		Волинець В.І.						ФАБЕ, гр.ЕЕ–41			

Таблиця 2.2 – Розрахунок навантажень силових приймачів підприємства

Номер цеху	P_H , кВт	Середні навантаження за найбільш завантажену зміну			Розрахункові навантаження		
		$P_{ср.зм}$, кВт	$Q_{ср.зм}$, кВАр	$S_{ср.зм}$, кВА	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
1	280	121,83	121,36	171,96	144,43	126,75	192,16
1.1	159	67,38	67,46	95,34	84,53	67,46	108,15
1.2	121	54,45	53,91	76,62	59,90	59,30	84,28
2	290	133,40	134,73	189,60	173,42	134,73	219,61
3	295	135,70	162,84	211,97	189,98	162,84	250,22
4	250	117,50	118,68	167,00	150,40	118,68	191,58
5	235	110,45	109,35	155,42	160,15	109,35	193,92
6	211	147,70	110,78	184,63	251,09	110,78	274,44
7	39	12,87	13,26	18,48	32,18	13,26	34,80
Всього	1600	779,45	770,99	1099,06	1101,65	776,38	1356,73

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

Санітарними нормами передбачено для цехів з виробництва будівельних матеріалів, де виконуються роботи розряду V_a , нормативну освітленість 300 лк. Такий рівень освітленості може бути забезпечений промисловими світильниками DELUX потужністю 100 Вт [4].

Вибір світильників для виробничих та допоміжних приміщень відображено в таблиці 2.3, розрахунок їх навантажень – в таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 – Вибір джерел світла

Номер цеху з розд.1	Розряд зорової роботи	$E_{норм}$, лк	Тип світильника	F, лм	P, кВт
1	V_a	300	DELUX High Bay3 100Вт 6500K_220В IP65	10000	100
2	V_a	300	DELUX High Bay3 100Вт 6500K_220В IP65	10000	100
3	V_a	300	DELUX High Bay3 100Вт 6500K_220В IP65	10000	100
4	V_a	300	DELUX High Bay3 100Вт 6500K_220В IP65	10000	100
5	V_a	300	DELUX High Bay3 100Вт 6500K_220В IP65	10000	100
6	VIII ₆	75	EVROLIGHT WL2-36-K 36Вт 6400K IP65	3000	36
7	VIII ₆	75	EVROLIGHT WL2-36-K 36Вт 6400K IP65	3000	36

Таблиця 2.4 – Розрахунок освітлювального навантаження підприємства

Номер цеху	F, м ²	h, м	P _{пит} , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	P _о , кВт	K _{пра}	K _п	tgφ	P _{р.о} , кВт	Q _{р.о} , квар
1	2880	8	3,36	9,68	1,2	0,9	0,33	10,45	3,45
2	1800	8	3,36	6,05	1,2	0,9	0,33	6,53	2,16
3	2520	8	3,36	8,47	1,2	0,9	0,33	9,14	3,02
4	2160	8	3,36	7,26	1,2	0,9	0,33	7,84	2,59
5	1728	8	3,36	5,81	1,2	0,9	0,33	6,27	2,07
6	1008	5	3,21	3,24	1,2	0,9	0,33	3,49	1,15
7	1440	5	3,21	4,62	1,2	0,9	0,33	4,99	1,65
Всього	13536			45,11				48,72	16,08

Для вуличного освітлення приймаємо з [4] джерела світла EVROLIGHT 36Вт 6400K WL36 – SLIM 2880лм IP65:

$$\sum \varepsilon = \frac{10^3 \cdot 2,75 \cdot 0,85 \cdot 11}{2880} = 8.93 \text{ лк};$$

$$\frac{L}{h} = 12; L = 12 \cdot 11 = 132 \text{ м};$$

$$L_{\Sigma} = 3240 \text{ м}; N = \frac{3240}{132} = 24,5 \Rightarrow N_{\text{прийн}} = 25;$$

$$P_{\text{вст.зовн}} = 25 \cdot 36 \cdot 10^{-3} = 0,9 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{розр.зовн}} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,97 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{розр.зовн}} = 0,97 \cdot 0,33 = 0,32 \text{ кВАр}.$$

2.3. Визначення результуючих навантажень

Електричні навантаження кожного цеху заводу будівельних матеріалів створені силовими та освітлювальними електроустановками. Додавання цих навантажень для кожного цеху дозволить отримати сумарні навантаження.

Розрахунок наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок результуючих навантажень

Номер цеху	$P_{вст\Sigma},$ кВт	$P_{ср.зм\Sigma},$ кВт	$Q_{ср.зм\Sigma},$ квар	$S_{ср.зм\Sigma},$ кВА	$P_{p\Sigma},$ кВт	$Q_{p\Sigma},$ квар	$S_{p\Sigma},$ кВА
1	289,68	132,28	124,81	181,87	154,88	130,20	202,34
1.1	159,00	67,38	67,46	95,34	84,53	67,46	108,15
1.2	121,00	54,45	53,91	76,62	59,90	59,30	84,28
2	296,05	139,93	136,89	195,75	179,95	136,89	226,10
3	303,47	144,84	165,86	220,20	199,12	165,86	259,15
4	257,26	125,34	121,26	174,40	158,24	121,26	199,36
5	240,81	116,72	111,41	161,36	166,42	111,41	200,27
6	214,24	151,19	111,93	188,12	254,58	111,93	278,10
7	43,62	17,86	14,90	23,26	37,17	14,90	40,04
Освітлення території	0,90	0,97	0,32	1,02	0,97	0,32	1,02
Всього	1646,01	829,14	787,39	1145,98	1151,34	792,78	1406,39

2.4. Побудова картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Картограма електричних навантажень заводу будівельних матеріалів являє собою графічне відображення результатів розрахунку сумарних (табл.2.5) та освітлювальних (табл.2.4) навантажень кожного цеху.

Таблиця 2.6 – Визначення центру електричних навантажень

№ цеху	x, м	y, м	$P_{p\Sigma} \cdot x$	$P_{p\Sigma} \cdot y$	$Q_{p\Sigma} \cdot x$	$Q_{p\Sigma} \cdot y$	r	α
1	42	90	6505	13939	5468	11718	25	24
2	42	27	7558	4859	5749	3696	27	13
3	114	27	22700	5376	18908	4478	29	17
4	180	153	28483	24210	21827	18553	25	18
5	168	72	27959	11982	18718	8022	25	14
6	51	153	12984	38951	5708	17125	30	5
7	168	111	6244	4126	2504	1654	11	48
Всього			106189	99318	76379	63592		
$X_{ц}$	94							
$Y_{ц}$	83							

Трансформаторну підстанцію заводу розміщуємо в центрі навантажень для забезпечення мінімальних довжин кабелів внутрішньої розподільної мережі.

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

Характеристики трансформаторної підстанції заводу будівельних матеріалів:

два силових трансформатори (відповідає вимогам II категорії надійності);

тип трансформаторів ТМ [5]: трифазний, розміщений в бакові з маслом для охолодження та запобігання руйнування обмоток, коефіцієнт трансформації 10/0,4 кВ;

в нормальному режимі роботи завантаження кожного трансформатора не перевищує 70%.

Таблиця 2.7 – Вибір трансформаторів

Варіант встановлення	$\sigma, \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$	$S_T, \text{кВА}$	N	$N_{\min}$	m	$N_{\text{опт}}$	$Q_{\max T}, \text{кВАр}$
I	0,08	1000	1,18	2	0	2	1128,06
II		630	1,88	2	0	2	300,74

Таблиця 2.8 – Вибір низьковольтних батарей конденсаторів

Варіант встановлення	$Q_{\text{НБК1}}, \text{кВАр}$	k_{p1}	k_{p2}	γ	$Q_{\text{НБК2}}, \text{кВАр}$	$Q_{\text{НБК}}, \text{кВАр}$	Потужність НБК
I	0,00	12	27	0,31	167,39	167,39	80
II	486,65	12	27	0,31	0,00	486,65	250

Характеристики обраних з [6] конденсаторних батарей ККУ:

напруга 0,4 кВ;

автоматичні, із ступінчастим регулюванням реактивної потужності;

частота 50 Гц;

охолодження – природне.

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9 – Техніко-економічне порівняння можливих варіантів встановлення

Варіант встановлення	$\Delta P_{\text{х}},$ кВт	$\Delta P_{\text{к}},$ кВт	$\tau,$ год	$W,$ тис.кВт·год	$C_{\text{е}},$ тис.грн	$K,$ тис.грн	$З,$ тис.грн
I	1,7	12,2	1107	17,7931	136,651	1128,00	277,65
II	1,18	8,5	1107	12,3591	94,918	1042,16	225,19

Вибираємо $2 \times \text{ТМ} - 630 / 10; 2 \times \text{ККУ} - 0,4 - 250 - 10 - 21\text{УЗ}$.

Перевіряємо вибрані трансформатори за перевантажувальною здатністю :

$$1,4 \cdot 630 = 882 \text{ кВА} > \frac{2 \cdot (1 - 0,231) \cdot 1145,98}{2} = 881,26 \text{ кВА}.$$

2.6. Компенсація реактивної потужності

Електричні установки змінного струму заводу будівельних матеріалів споживають як активну, так і реактивну потужність. Також мають місце втрати потужності в силових трансформаторах та лініях електропередавання від потоків реактивної потужності. Для розвантаження мереж та зниження плати за реактивні перетікання застосовують засоби компенсації реактивної потужності.

Таблиця 2.10 – Розрахунок компенсації реактивної потужності

Показник	Од.вимір.	Значення
$Q_{\text{ср.зм}\Sigma}$	кВАр	787,39
$Q_{\text{еmax}}$	кВАр	274
$Q_{\text{НБК ф}}$	кВАр	500
$\Delta Q_{\text{Т}}$	кВАр	33
$K_{\text{НС}}$	—	0,90
$Q_{\text{М1}}$	кВАр	708,65
$Q_{\text{К1}}$	кВАр	435,03
$Q_{\text{НС Т}}$	кВАр	353,39
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	1,03

Потужність обраних в табл.2.8 конденсаторних батарей на напругу 0,4 кВ достатня для забезпечення необхідної вхідної реактивної потужності.

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Навантаження на шинах 10 кВ трансформаторної підстанції розраховано в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунок навантажень на рівні 10 кВ

Розрахункове навантаження	Одиниці вимірювання	Значення
P_{p3}	кВт	829,14
Q_{p2}	кВАр	787,39
$Q_{НБК}$	кВАр	500
P_{p3}	кВт	829,14
Q_{p3}	кВАр	287,39
S_{p3}	кВА	877,54
ΔP_T	кВт	17,55
ΔQ_T	кВАр	87,75
P_{p4}	кВт	846,70
Q_{p4}	кВАр	375,14
S_{p4}	кВА	926,08

2.8. Проектування мережі живлення підприємства

Мережу живлення заводу будівельних матеріалів виконано двома кабелями марки АПвВ [8] з такими характеристиками:

призначення – передавання та розподіл електричної енергії в стаціонарних установках напругою 6 – 35 кВ з частотою змінного струму 50 Гц;

багатодротові алюмінієві жили;

ізоляція з пероксиднозшитого поліетилену;

екран з екструдованої електропровідної зшитої поліетиленової композиції;

захисна облонка з ПВХ-пластикату.

$$j_e = 1,9 \frac{A}{mm^2} [7];$$

$$I_{норм} = \frac{926,08}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 26,73 A; I_{П АВ} = \frac{926,08}{\sqrt{3} \cdot 10} = 53,47 A;$$

$$F_e = \frac{26,73}{1,9} = 14,07 mm^2; \text{розглядаємо перерізи від } 35 mm^2 \text{ включно.}$$

Таблиця 2.12 – Вибір кабельних ліній високої напруги

F, мм ²	I _{доп} , А	I' _{доп} , А	r ₀ , $\frac{Ом}{км}$	X ₀ , $\frac{Ом}{км}$	ΔU _{норм} , В	ΔU _{норм} , %	ΔU _{П АВ} , %
35	143	147,29	0,641	0,09	97,11	0,97	1,94
50	169	174,1	0,58	0,086	88,34	0,88	1,77
70	211	217,3	0,45	0,084	70,31	0,70	1,41
95	260	267,8	0,31	0,083	51,02	0,51	1,02

Таблиця 2.13 – Техніко-економічне порівняння кабелів різного перерізу

F, мм ²	K _{зл}	ΔP _н , кВт	ΔP _д , кВт	C _е , тис. грн.	K, тис. грн.	З, тис. грн.
35	0,182	135,17	4,453	37,860	3574,2	484,635
50	0,154	170,82	4,029	34,257	4380,8	581,857
70	0,123	206,59	3,126	26,579	4558,4	596,379
95	0,100	216,10	2,153	18,310	5320,6	683,385

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

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Прийом та розподіл електричної енергії в кожному цеху заводу будівельних матеріалів відбувається за допомогою ввідно-розподільних пристроїв [10] типу ВРП2-1 з такими характеристиками: два ввідних триполюсних автоматичних вимикачі для безперебійного живлення від двох

незалежних джерел; чотири фідерні автоматичні вимикачі; захист від атмосферних та експлуатаційних перенапруг за допомогою обмежувачів перенапруги ОПН; технічний облік електричної енергії за допомогою лічильників ELGAMA-ELECTRONIKA (по одному на кожен ввід); можливість підключення додаткових приладів (вольтметрів, амперметрів, аналізаторів параметрів мережі); виконання – підлогове.

Прийом електроенергії від ВРП та розподіл її між електроприймачами цехів виконано за допомогою розподільних пунктів ПР11 [9] з такими характеристиками: призначені для встановлення на промислових об'єктах; однобічного обслуговування; безкаркасні; навісного виконання.

Таблиця 2.14 – Вибір розподільних пристроїв 0,4 кВ

Назва РП	$S_{p\sum}$, кВА	$I_{п.ав}$, А	Тип розподільного пристрою	$I_{доп.РП}$, А	$n_{прийм}$	$n_{мод}$
ВРП1	202,34	307,42	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	2	4
РП1.1	108,15	164,32	ПР11 – 3065 – 21 У3	250	22	24
РП1.2	84,28	128,05	ПР11 – 3065 – 21 У3	250	20	24
ВРП2	226,10	343,52	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
ВРП3	259,15	393,74	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
ВРП4	239,40	363,73	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
ВРП5	200,27	304,29	ЕУ – ВРП2 – 1 – 400 У4	400	4	4
РП6	278,10	422,53	ПР11 – 3121 – 21 У3	630	8	8
РП7	40,04	60,84	ПР11 – 3034 – 21 У3	100	11	12

Для живлення ввідно-розподільних пристроїв цехів та розподільних пунктів насосної станції та складу застосовано кабелі АВВГ – 0,4 [11] з такими характеристиками: призначені для прокладання в траншеї; алюмінієві струмовідні жили; ізоляція та оболонка з ПВХ-пластикату; відсутність захисного покриття (голий); мінімальна температура прокладання без попереднього підігріву -15°C ; глибина прокладання 0,7 м.

Для живлення розподільних пунктів від ВРП застосовано кабелі АВВГнгд – 0,4 [11] – не підтримують горіння, з пониженим димо- та газоутворенням.

Таблиця 2.15 – Вибір кабелів 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\sum}$, кВА	$I_{норм}$, А	$I_{п.ав}$, А	Переріз кабелю	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А	$I''_{доп}$, А	l, км	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{норм}$, %	$\Delta U_{п.ав}$, %
ТП – ВРП1	2	202,34	153,71	307,42	4×240	490	505	529	0,025	0,125	0,047	0,23	0,45
ВРП1 – РП1.1	2	108,15	82,16	164,32	5×95	165	170	178	0,039	0,35	0,06	0,46	0,93
ВРП1 – РП1.2	2	84,28	64,03	128,05	5×70	140	144	151	0,018	0,48	0,06	0,22	0,44
ТП – ВРП2	2	226,10	171,76	343,52	4×240	490	505	529	0,071	0,125	0,047	0,71	1,42
ТП – ВРП3	2	259,15	196,87	393,74	4×240	490	505	529	0,037	0,125	0,047	0,43	0,86
ТП – ВРП4	2	239,40	181,87	363,73	4×240	490	505	529	0,122	0,125	0,047	1,30	2,59
ТП – ВРП5	2	200,27	152,14	304,29	4×240	490	505	529	0,039	0,125	0,047	0,35	0,70
ТП – РП6	2	278,10	211,27	422,53	4×240	490	505	529	0,096	0,125	0,047	1,19	2,37
ВРП4 – РП7	1	40,04	60,84	60,84	4×16	60	62	65	0,030	2,08	0,07	1,44	1,44

2.10. Розрахунок струмів короткого замикання

Застосовуємо відносне наближене зведення :

$$S_6 = 100 \text{ МВА}; U_6 = 10,5 \text{ кВ}.$$

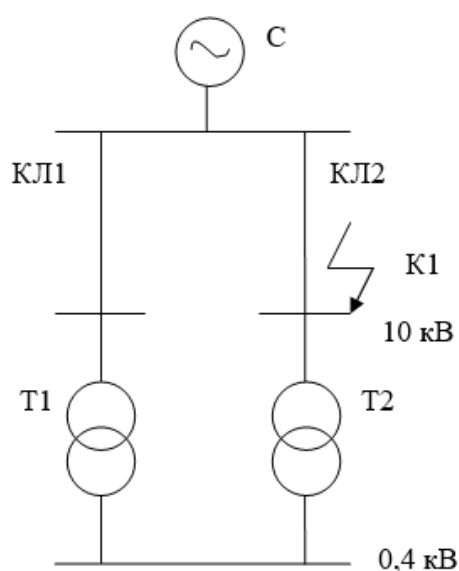


Рисунок 2.1 – Електрична
схема короткозамкненого кола

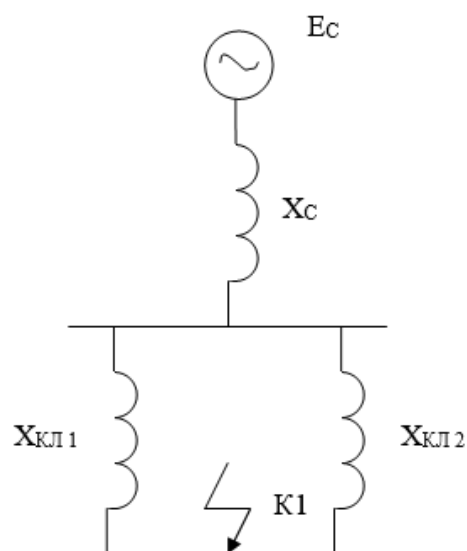


Рисунок 2.2 – Заступна схема
короткозамкненого кола

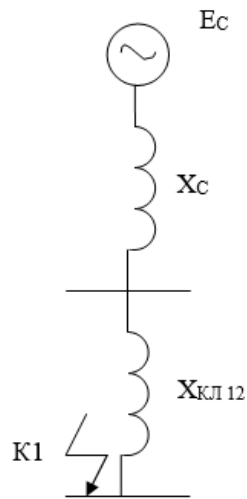


Рисунок 2.3 – Схема короткозамкненого кола після об'єднання паралельних ліній

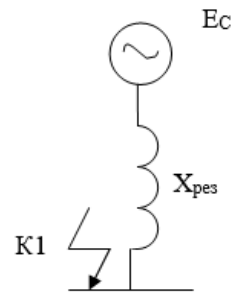


Рисунок 2.4 – Спрощена схема короткозамкненого кола

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

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
S_{K3}	МВА	60,2
$\dot{X}_{C*}$	—	1,661
$\dot{R}_{KL1*}, \dot{R}_{KL2*}$	—	2,151
$\dot{X}_{KL1*}, \dot{X}_{KL2*}$	—	0,302
$\dot{R}_{KL12*}$	—	1,076
$\dot{X}_{KL12*}$	—	0,151
$\dot{R}_{рез*}$	—	1,076
$\dot{X}_{рез*}$	—	1,812
$\dot{Z}_{рез*}$	—	2,107
I_6	кА	5,50
I_{n0}	кА	2,609
k_y	—	1,42
i_y	кА	5,240
K_T	$\frac{A \cdot c^{1/2}}{мм^2}$	125
t_n	с	0,25
F_{min}	мм ²	10,4
Тип та переріз кабелю з п.2.8	—	АПВ – 10 – 3 × 35
B_K	кА ² · с	1,7

2.11. Вибір обладнання

2.11.1. Вибір комплектних розподільчих пристроїв

Збірні комірки серії КСО-399 [14] призначені для прийому та розподілення електроенергії в мережі трифазного змінного струму напругою 6 – 10 кВ об'єктів промисловості та мають такі характеристики: обслуговування – одностороннє; кліматичне виконання – УЗ (експлуатація в приміщеннях при помірному кліматі); ступінь захисту IP20; модульне компонування з поділом на апаратний, кабельний та шинний відсіки.

Панелі серії ЩО-99 [15] призначені для прийому та розподілення електроенергії в мережі трифазного змінного струму напругою до 0,66 кВ та мають такі характеристики: обслуговування – одностороннє; кліматичне виконання – УЗ (експлуатація в приміщеннях при помірному кліматі); ступінь захисту IP20.

Таблиця 2.17 – Технічні характеристики комплектних розподільних пристроїв трансформаторної підстанції

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

10 = 10 кВ;

26,73 < 630 А;

53,47 < 630 А;

$$5,24 < 51 \text{ кА};$$

$$1,7 < 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

2.11.2. Вибір роз'єднувачів

Для можливості ввімкнення резервної лінії в секційних комірках встановлено роз'єднувачі РВ030 – 10 – 630 [16] з такими характеристиками: внутрішнього встановлення; із заземлюючими ножами; призначення – комутація під напругою ділянок мережі без навантаження, перетворення схеми; безпека робіт у вимкненій ділянці кола:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$26,73 < 630 \text{ А};$$

$$53,47 < 630 \text{ А};$$

$$5,24 < 41 \text{ кА};$$

$$1,7 < 1024 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

2.11.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Для комутації під навантаженням кіл напругою до 10 кВ з [17] обрано вимикачі навантаження з автогазовим дугогасним пристроєм та ножами заземлення:

Ввідні комірки

ВН – РА 030 – 10 – 630 УЗ:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$26,73 < 630 \text{ А};$$

$$53,47 < 630 \text{ А};$$

$$2,609 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,24 < 80 \text{ кА};$$

$$1,7 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Трансформаторні комірки

ВН – РА 03П – 10 – 630 УЗ:

$$10 = 10 \text{ кВ};$$

$$26,73 < 630 \text{ А};$$

$$53,47 < 630 \text{ А};$$

$$2,609 < 31,5 \text{ кА};$$

$$5,24 < 80 \text{ кА};$$

$$1,7 < 992,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Запобіжники вибрані з [18] для захисту силових трансформаторів з боку напруги 10 кВ від стрибків струму, викликаних котокими замиканнями:

ПКТ – 10 – 63 – 12,5 УЗ:

$$53,47 < 63 \text{ А};$$

$$2,609 < 12,5 \text{ кА};$$

$$45,19 < 217 \text{ кА},$$

$$S'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,609 = 45,19 \text{ МВА}.$$

2.12. Розрахунок низьковольтної мережі цеху

2.12.1. Вибір схеми електропостачання

Для живлення приймачів діляниці мінеральних в'язучих речовин з [19] обрано кабелі ВВГнгд-0,4 з такими характеристиками: призначені для прокладання в кабельних каналах; мідні струмовідні жили; подвійна ізоляція та оболонка з ПВХ-пластикату; відсутність захисного покриття (голий); температура експлуатації від -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$; не підтримують горіння, з пониженим димо- та газоутворенням.

Таблиця 2.18 – Вибір кабелів внутрішньоцехової мережі

Назва електроприймача	Р _н , кВт	cos φ	I, А	F, мм ²	I _{тр.доп.} , А	Кабель
РПІ.1						
Установка подрібнювальна	7,5	0,70	16,28	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Змішувач бетону	15	0,70	32,72	4	34	ВВГнгд-5×4
Установка дозувальна	3,5	0,70	7,60	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Піч шахтна	7,5	0,70	16,20	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Установка вібрувальна	6	0,70	13,02	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр	22	0,70	47,99	10	61	ВВГнгд-5×10
Установка вентиляційна	3	0,78	5,84	2,5	26	ВВГнгд-5×2,5

Таблиця 2.19 – Перевірка кабелів за втратами напруги

Назва електроприймача	n	$r_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	l, км	$\Delta U\%$	Кабель
РП.1						
Установка подрібнювальна	4	8	0,09	0,036	1,513	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,05	2,101	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,024	1,009	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,012	0,504	ВВГнгд-5×2,5
Змішувач бетону	2	5	0,09	0,044	3,699	ВВГнгд-5×4
		5	0,09	0,058	4,876	ВВГнгд-5×4
Установка дозувальна	4	8	0,09	0,024	0,471	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,027	0,530	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,03	0,588	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,033	0,647	ВВГнгд-5×2,5
Піч шахтна	4	8	0,09	0,052	2,185	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,046	1,933	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,042	1,765	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,044	1,849	ВВГнгд-5×2,5
Установка вібрувальна	4	8	0,09	0,017	0,572	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,023	0,773	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,029	0,975	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,035	1,177	ВВГнгд-5×2,5
Конвеєр	1	2	0,07	0,024	0,758	ВВГнгд-5×10
Установка вентиляційна	3	8	0,09	0,042	0,704	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,052	0,872	ВВГнгд-5×2,5
		8	0,09	0,014	0,235	ВВГнгд-5×2,5

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

Застосовуємо абсолютне наближене зведення :

$$U_6 = 0,4 \text{ кВ}; U_{c10} = 10,5 \text{ кВ}.$$

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

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
U_6	кВ	0,4
$I_{к10}$	кА	2,609
U_{c10}	кВ	10,5
$S_{\text{ном.Т}}$	кВА	630
ΔP_k	кВт	8,5
u_k	%	6

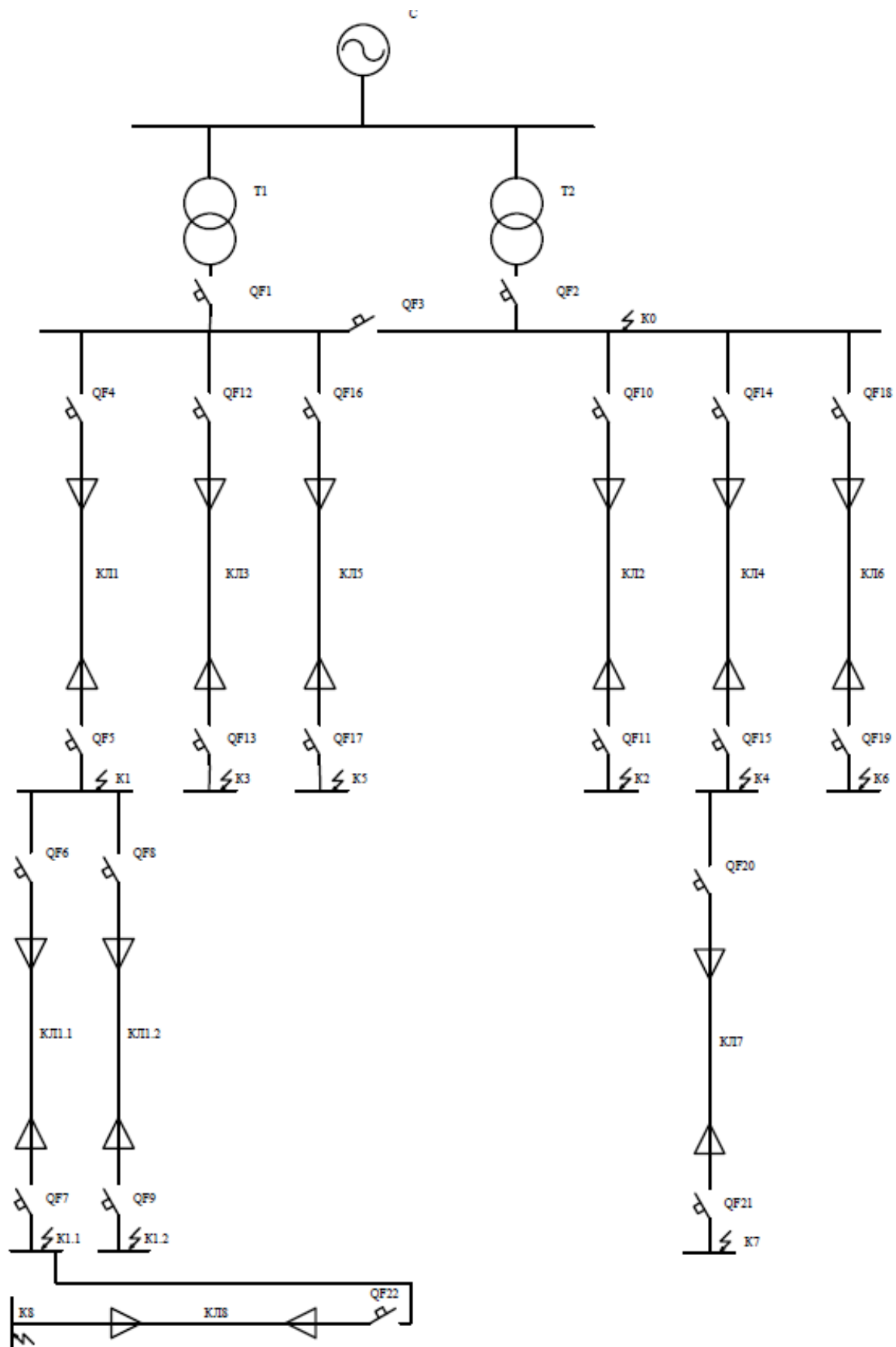


Рисунок 2.5 – Схема короткозамкнутого кола НВ мережі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛНТУ.971011.000 ПЗ

Арк.

26

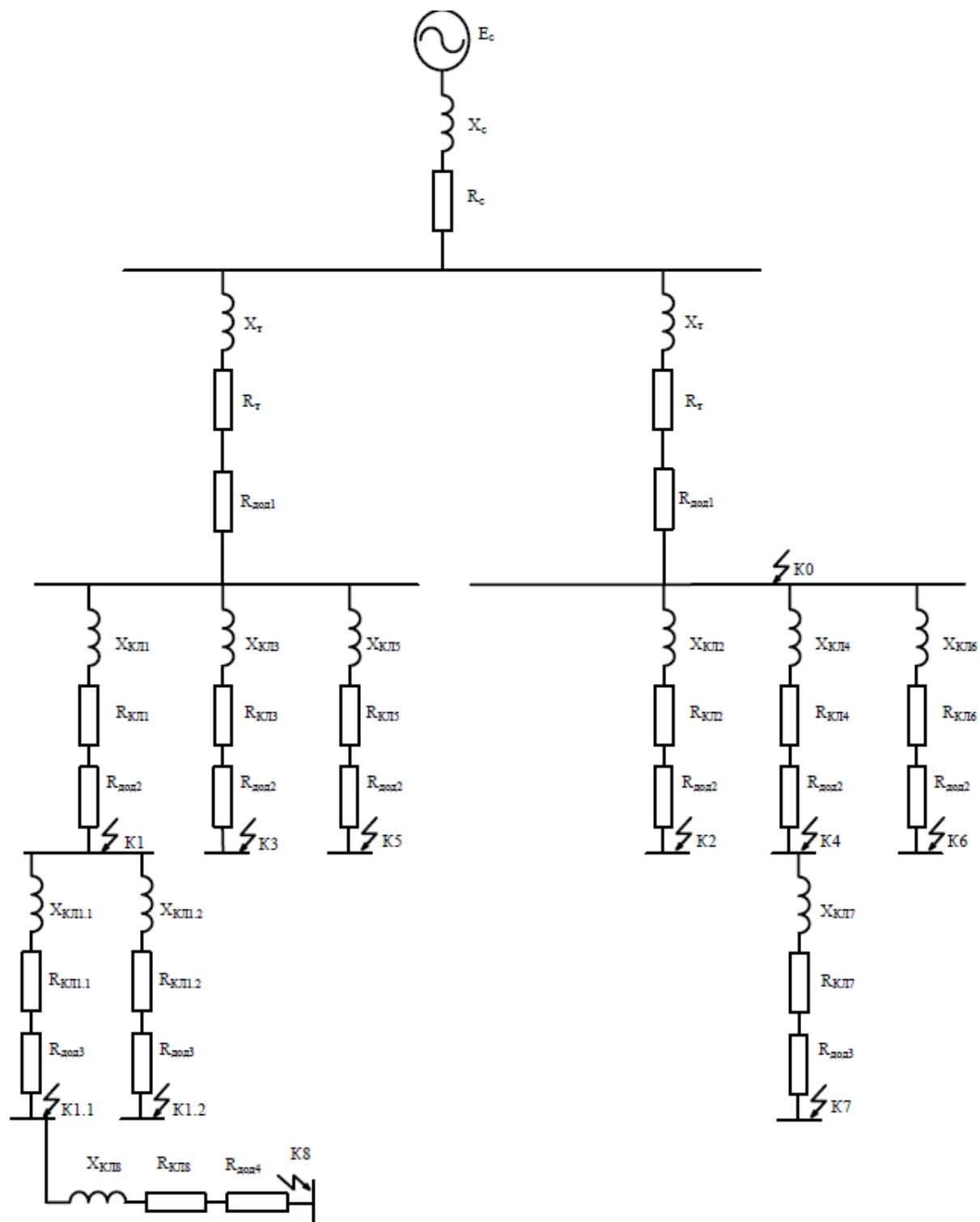


Рисунок 2.6 – Заступна схема НВ мережі

Таблиця 2.21 – Визначення струмів КЗ в точці К0

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
R_C	Ом	1,186
X_C	Ом	2,323
$\dot{R}_C$	МОм	1,721
$\dot{X}_C$	МОм	3,372
$\dot{R}_T$	МОм	1,713
$\dot{X}_T$	МОм	7,619
$\dot{R}_{рез0}$	МОм	18,434
$\dot{X}_{рез0}$	МОм	10,991
$Z_{рез0}$	МОм	21,462
I_K	кА	10,760
k_y	–	1,05
i_y	кА	15,978

Таблиця 2.22 – Визначення опорів кабельних ліній

Назва кабельної лінії	l , км	r_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	R , МОм	x_0 , $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	X , МОм
ТП – ВРП1	0,025	0,125	3,150	0,047	1,184
ВРП1 – РП1.1	0,039	0,35	13,720	0,06	2,352
ВРП1 – РП1.2	0,018	0,48	8,640	0,06	1,080
ТП – ВРП2	0,071	0,125	8,850	0,047	3,328
ТП – ВРП3	0,037	0,125	4,650	0,047	1,748
ТП – ВРП4	0,122	0,125	15,250	0,047	5,734
ТП – ВРП5	0,039	0,125	4,900	0,047	1,842
ТП – РП6	0,096	0,125	12,000	0,047	4,512
ВРП4 – РП7	0,030	2,08	63,232	0,07	2,128
РП1.1 – Рmax	0,024	2	48,000	0,07	1,680

Таблиця 2.23 – Визначення струмів КЗ в НВ мережі

Точка КЗ	$R_{\text{дод}},$ мОм	$\dot{R}_{\text{рез}},$ мОм	$\dot{X}_{\text{рез}},$ мОм	$\dot{Z}_{\text{рез}},$ мОм	$I_{\text{к}},$ кА	k_y	$i_y,$ кА	$F_{\text{min}},$ мм ²	Вибраний переріз
К1	20	26,58	12,18	29,24	7,898	1	11,170	29,3	4×240
К1.1	25	45,30	14,53	47,58	4,854	1	6,865	18,0	5×95
К1.2	25	40,22	13,26	42,35	5,453	1	7,712	20,2	5×70
К2	20	32,28	14,32	35,32	6,539	1	9,248	24,2	4×240
К3	20	28,08	12,74	30,84	7,489	1	10,591	27,7	4×240
К4	20	38,68	16,72	42,14	5,480	1	7,749	20,3	4×240
К5	20	28,33	12,83	31,10	7,425	1	10,500	27,5	4×240
К6	20	35,43	15,50	38,68	5,971	1	8,444	22,1	4×240
К7	25	106,92	18,85	108,57	2,127	1	3,008	7,9	4×16
К8	30	98,30	16,21	99,63	2,318	1	3,278	8,6	5×10

Всі перевірки виконуються.

2.12.3. Вибір трансформаторів струму

Трансформатори струму [21] призначені для застосування в схемах комерційного та технічного обліку електричної енергії та для передавання сигналу вимірюваної інформації до вимірювальних приладів:

лічильники електричної енергії комерційного та технічного обліку

НІК 2307 АПЗТ, вибрані з [20];

амперметри АСКО – УКРЕМ 600А.

$$I_{\text{норм}} = \frac{1406,39}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 1068,39 \text{ А}; I_{\text{max}} = \frac{1406,39}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2136,79 \text{ А}.$$

Вторинне навантаження трансформаторів струму :

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

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

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

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

Комерційний облік :

CHINT ВН-0.66 120 2500/5А 0,5

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$1068,39 < 2500 \text{ A};$$

$$2136,79 < 2500 \text{ A};$$

$$15,978 < 51 \text{ кА};$$

$$28,95 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

Технічний облік :

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

$$0,38 < 0,66 \text{ кВ};$$

$$422,53 < 600 \text{ A};$$

$$7,749 < 51 \text{ кА};$$

$$7,51 < 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$0,495 < 5,0 \text{ Ом.}$$

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі [22] призначені для встановлення в низьковольтному щитовому обладнанні та захисту від перевантажень та струмів короткого замикання ліній змінного струму частотою 50 Гц напругою 400 В.

Таблиця 2.24 – Вибір автоматичних вимикачів

Номер вимикача	Тип вимикача	Каталожні дані			Розрахункові дані			
		$U_{\text{ном}}$, кВ	$I_{\text{ном розщ}}$, А	$I_{\text{гр вимк}}$, кА	$U_{\text{уст}}$, кВ	$I_{\text{норм}}$, А	$I_{\text{п.ав}}$, А	$I_{\text{к}}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
QF1	Chint NA1-2000-2500M	0,4	2500	40	0,4	1068,39	2136,79	10,760
QF2	Chint NA1-2000-2500M	0,4	2500	40	0,4	1068,39	2136,79	10,760
QF3	Chint NA1-2000-2500M	0,4	2500	40	0,4	1068,39	2136,79	10,760
QF4	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	153,71	307,42	7,898
QF5	ВА 88 – 37	0,4	315	35	0,4	153,71	307,42	7,898
QF6	ВА 88 – 35	0,4	200	35	0,4	82,16	164,32	4,854

Продовження таблиці 2.24

1	2	3	4	5	6	7	8	9
QF7	BA 88 – 35	0,4	200	35	0,4	82,16	164,32	4,85
QF8	BA 88 – 33	0,4	160	35	0,4	64,03	128,05	5,453
QF9	BA 88 – 33	0,4	160	35	0,4	64,03	128,05	5,45
QF10	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	171,76	343,52	6,539
QF11	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	171,76	343,52	6,539
QF12	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	196,87	393,74	7,489
QF13	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	196,87	393,74	7,489
QF14	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	181,87	363,73	5,480
QF15	BA 88 – 40	0,4	400	35	0,4	181,87	363,73	5,480
QF16	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,14	304,29	7,425
QF17	BA 88 – 37	0,4	315	35	0,4	152,14	304,29	7,425
QF18	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	211,27	422,53	5,971
QF19	BA 88 – 40	0,4	500	35	0,4	211,27	422,53	5,971
QF20	BA 88 – 33	0,4	63	35	0,4	60,84	60,84	2,127
QF21	BA 88 – 33	0,4	63	35	0,4	60,84	60,84	2,13
QF22	BA 88 – 32	0,4	50	25	0,4	47,99	47,99	2,318

2.12.5. Вибір рубильників

Рубильники [23] триполюсні з ручним приводом призначені для відключення електричних кіл без навантаження при виконанні ремонтних робіт:

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

$0,38 < 0,66\ kV;$

$1068,39 < 2500\ A;$

$2136,79 < 2500\ A;$

$15,978 < 50\ kA;$

$28,95 < 900\ kA^2 \cdot c.$

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

Насосну станцію заводу будівельних матеріалів укомплектовано відцентровими лопатевими насосами, принцип дії яких полягає у перетворенні механічної енергії у гідравлічну за рахунок обертання лопатевого робочого колеса. Характеристики насосів: призначені для водопостачання, одноступінчасті, із закритим робочим колесом та нормальним всмоктуванням (застосовується заливний насос для попереднього заповнення рідиною перед пуском).

Перевагами таких насосів є простота конструкції та обслуговування (мінімум рухомих частин), стійкість до зношування, висока продуктивність та компактність.

$$Q_3 = 98 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}; H_C = 350 \text{ м}; l_{\text{вх}} = 100 \text{ м}; l_{\text{н}} = 200 \text{ м}; l_{\text{кл}} = 35 \text{ м}.$$

Розрахунки виконуємо згідно з [24].

Спрощений гідравлічний розрахунок насосної станції:

$$v_p = 2,0 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ з [24];}$$

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 98}{3600 \cdot 2,0 \cdot 3,14}} = 0,132 \text{ м}; \text{ приймаємо } d_n = 150 \text{ мм};$$

$$d_{\text{вх}} = 150 + 50 = 200 \text{ мм};$$

$$Q_{\text{гр}} = 120 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \text{ з [24]; } 98 < 120 \frac{\text{м}^3}{\text{год}};$$

$$\alpha = [(0,678 + 3,115) \cdot (100 + 200) + 0,2 \cdot (3,95 + 12,59)] \cdot 10^{-6} = 0,0011 \frac{\text{год}^2}{\text{м}^5};$$

$$H_T = 350 - 0,0011 \cdot Q^2;$$

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Карпик Б.В.				Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 1600 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.
Перевір.	Вітер Д.В.						32
							3
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр.ЕЕ-41	
Затверд.	Волинець В.І.						

вибираємо з [24] насоси ЦНС105 – 98 – 460 :

$$Q_H = 105 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}; H_H = 98 \div 460 \text{ м}; H_H = 53,5 + 0,168 \cdot Q - 0,002 \cdot Q^2.$$

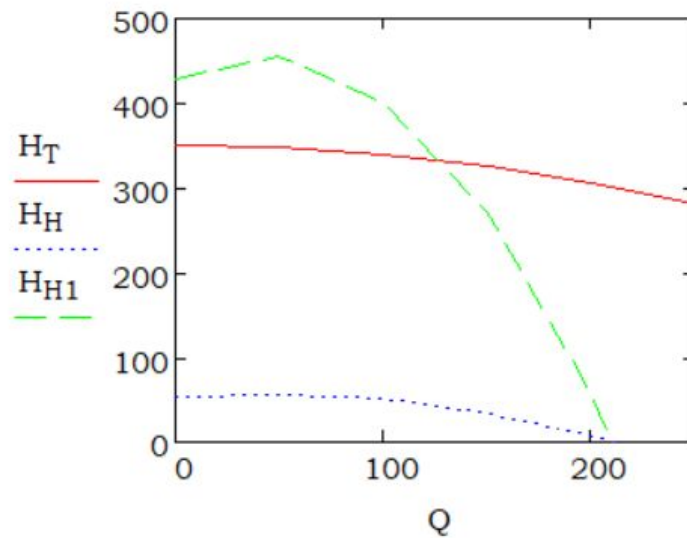


Рисунок 3.1 – Визначення робочої точки

$$\text{Для 8 послідовних насосів: } Q_p = 130 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}; H_p = 331 \text{ м};$$

$$98 < 130 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}; H_0 = 428 \text{ м}; 0,9 \cdot 428 = 385,2 > 350 \text{ м}.$$

Електропостачання насосної станції :

$$P = \frac{1,2 \cdot 130 \cdot 331 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}}{3600 \cdot 0,82 \cdot 8} = 21,45 \text{ кВт};$$

$$\text{з [24]} \Rightarrow \text{двигун А2: } P_{\text{дв}} = 22 \text{ кВт}; \eta_{\text{дв}} = 90\%; \cos\varphi_{\text{дв}} = 0,9.$$

$$I_{\text{дв}} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 41,32 \text{ А};$$

$$j_e = 1,6 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}; F = \frac{41,32}{1,6} = 25,82 \text{ мм}^2;$$

з [19] вибираємо кабель ВВГнгд – 5 × 25;

$$r_0 = 0,8 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}; x_0 = 0,07 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$$

Позначаємо кабельну лінію від підстанції до РП6 насосної станції – КЛ1; від РП6 до двигуна насоса – КЛ2.

$$\Delta U_r = \frac{8,5}{630} \cdot 100 = 1,35\%;$$

$$\Delta U_x = \sqrt{6^2 - 1,35^2} = 5,85\%;$$

$$\Delta U_{TP} = 0,7 \cdot (1,35 \cdot 0,8 + 5,85 \cdot 0,6) = 3,21\%;$$

$$\Delta U_{КЛ1} = 2,37\%;$$

$$\Delta U_{КЛ2} = \sqrt{3} \cdot 41,32 \cdot 0,035 \cdot (0,8 \cdot 0,9 + 0,07 \cdot \sin(\arccos 0,9)) \cdot \frac{100}{380} = 0,49\%;$$

$$\Delta U = 3,21 + 2,37 + 0,49 = 6,08\% < 10\%.$$

$$R_T = \frac{8,5 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^3 = 0,003 \text{ Ом};$$

$$X_T = \frac{6 \cdot 0,4^2}{100 \cdot 630} \cdot 10^3 = 0,015 \text{ Ом};$$

$$R_{КЛ1} = 0,012 \text{ Ом}; \quad X_{КЛ1} = 0,0045 \text{ Ом};$$

$$R_{КЛ2} = 0,8 \cdot 0,035 = 0,028 \text{ Ом};$$

$$X_{КЛ2} = 0,07 \cdot 0,035 = 0,002 \text{ Ом};$$

$$Z = \sqrt{(0,003 + 0,012 + 0,028)^2 + (0,015 + 0,0045 + 0,002)^2} = 0,049 \text{ Ом};$$

$$U_{02} = 1,05 \cdot 380 = 399 \text{ В};$$

$$I_K^{(3)} = \frac{399}{\sqrt{3} \cdot 0,049} = 4729,4 \text{ А};$$

$$F_{\min} = \frac{4729,4 \cdot \sqrt{0,25}}{155} = 15,26 \text{ мм}^2; \quad 15,26 < 25 \text{ мм}^2.$$

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

САПР

Автоматизований розрахунок системи електропостачання насосної станції в середовищах Microsoft Excel 2003, Mathcad15 наведено на рис.4.1 – 4.5.

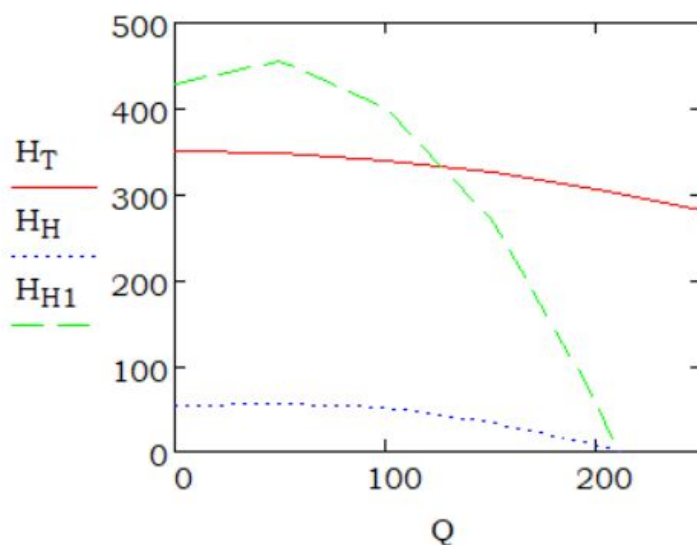
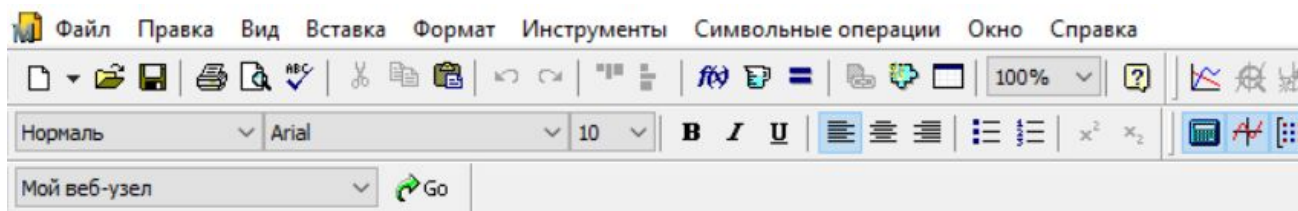
Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Acrobat Что вы хотите сделать?											
Вставить											
У25											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Таблица 3.1			Внутренний диаметр трубопровода, мм	Пропускная способность трубопровода ($\text{м}^3/\text{год}$) при скорости воды v_p , м/с						
2	Q_3 , $\text{м}^3/\text{год}$	98			1,8	2	2,2	2,4	2,5	2,7	3
3	H_c , м	350		100	50	55	60	70	72	75	85
4	$l_{вх}$, м	100		150	110	120	135	150	155	165	185
5	$l_{н}$, м	200		200	200	220	245	270	280	300	330
6	$l_{кл}$, м	35		250	315	350	390	420	440	480	530
7				300	450	500	550	600	630	680	750
8	Таблица 3.2			350	620	690	760	830	860	930	1030
9	V_p , м/с	2		400	810	900	990	1080	1110	1210	1350
10	d_n , мм	0,132		450	1025	1140	1250	1360	1420	1530	1700
11	$d_{н.прин}$, мм	150		500	1270	1410	1550	1690	1760	1900	2110
12	$Q_{гр}$, $\text{м}^3/\text{год}$	120		600	1840	2040	2240	2450	2550	2750	3050
13	$d_{вк}$, мм	200									

Рисунок 4.1 – Визначення параметрів трубопровідної мережі

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Acrobat Что вы хотите сделать?											
У25											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
14				Диаметр трубопровода, мм	Питомый расход A_p , $\text{год}^2/\text{м}^5$	Питомый расход A_m , $\text{год}^2/\text{м}^5$	Диаметр трубопровода, мм	Питомый расход A_p , $\text{год}^2/\text{м}^5$	Питомый расход A_m , $\text{год}^2/\text{м}^5$	№ п/п	1.1 Тип насоса
15	Таблица 3.3			50	1050,41	1020,11	325	0,0517	0,5714	1	ЦНС38-44-220
16	$A_{п.г}$, $\text{год}^2/\text{м}^5$	0,678		75	122,72	201,5	350	0,0349	0,4248	2	ЦНС60-50-250
17	$A_{п.г}$, $\text{год}^2/\text{м}^5$	3,115		100	26,714	63,75	375	0,0242	0,3223	3	ЦНС60-66-330
18	$A_{п.г}$, $\text{год}^2/\text{м}^5$	3,95		125	8,186	26,11	400	0,0172	0,249	4	ЦНС105-98-460
19	$A_{п.г}$, $\text{год}^2/\text{м}^5$	12,59		150	3,115	12,59	425	0,0124	0,1954	5	ЦНС180-85-425
20	ξ	0,2		175	1,376	6,79	450	0,0092	0,1554	6	ЦНС180-76-880
21	α , $\text{год}^2/\text{м}^5$	0,0011		200	0,678	3,95	475	0,0069	0,1262	7	ЦНС180-500-900
22	Тип насоса	ЦНС105-98-460		225	0,363	2,48	500	0,0052	0,102	8	ЦНС300-120-600
23	H_0	53,5		250	0,207	1,63				9	ЦНС300-700-1040
24	A	0,168		275	0,125	1,11				10	ЦНС300-780-1300
25	B	-0,002		300	0,079	0,7871				11	ЦНС300-160-800
26										12	ЦНС7850-240-960

Рисунок 4.2 – Вибір насоса

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 1600 кВт. Пояснювальна записка.		
Розроб.	Карпик Б.В.						
Перевір.	Вітер Д.В.						
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.						
Затверд.	Волинець В.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						35	3
					ФАБЕ, гр.ЕЕ-41		



Координати робочої точки:



$$Q_{\text{роб}} = 130.359$$

$$|Q_{\text{роб}}| = 130.359$$

$$H_{\text{роб}} = 331.307$$

$$|H_{\text{роб}}| = 331.307$$

Перевіримо вірність вибору насосів за умовами:

$$\begin{aligned} \text{Умова1} &:= \begin{cases} 1 & \text{if } Q_{\text{роб}} \geq Q_3 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} & \text{Умова2} &:= \begin{cases} 1 & \text{if } 0.9 \cdot H_{01} \geq H_C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{Умова1} &= 1 & \text{Умова2} &= 1 \end{aligned}$$

Рисунок 4.3 – Визначення координат робочої точки та перевірка умов роботи насоса

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Acrobat Что вы									
Вставить Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число									
U25 × ✓ f_x									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
27	Таблица 3.4			A2					
28	p	8		Р _{дв}	$\eta_{дв}$	cos	Р _{дв}	$\eta_{дв}$	cos
29	Q _p	130		2,2	0,825	0,83	30	0,91	0,91
30	H _p	331		3	0,835	0,84	40	0,915	0,91
31				4	0,86	0,85	55	0,925	0,92
32	Таблица 3.5			5,5	0,87	0,86	75	0,925	0,92
33	K _с	1,2		7,5	0,885	0,87	100	0,928	0,92
34	P, кВт	21,45		10	0,885	0,87	132	0,93	0,89
35	Тип двигателя	A2		13	0,885	0,89	160	0,934	0,9
36	P _{дв} , кВт	22		17	0,89	0,89	200	0,94	0,91
37	$\eta_{дв}$	0,9		22	0,9	0,9	250	0,943	0,9
38	cos $\varphi_{дв}$	0,9							

Рисунок 4.4 – Вибір електроприводу

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Acrobat Что вы хотите сделать?										
Вставить Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число Условное форматирование										
U25 × ✓ f_x										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
40	Таблица 3.6									
41	I _{дв} , А	41,32		ВВГнгд						
42	F, мм ²	25,82			Idop	r0	x0			
43	Тип кабеля	ВВГнгд-5×25		2,5	26	8	0,09			
44	I _{тр.доп} , А	150		4	34	5	0,09			
45	r ₀ , Ом / км	0,8		6	45	3,33	0,09			
46	x ₀ , Ом / км	0,07		10	85	2	0,07			
47	ΔU_r , %	1,35		16	115	1,25	0,07			
48	ΔU_x , %	5,85		25	150	0,8	0,07			
49	ΔU_T , %	3,21		35	175	0,57	0,06			
50	ΔU_{KL1} , %	2,37		50	215	0,4	0,06			
51	ΔU_{KL2} , %	0,49		70	265	0,29	0,06			
52	ΔU , %	6,08		95	310	0,21	0,06			
53	R _{л1} , Ом	0,012		120	350	0,17	0,06			
54	X _{л1} , Ом	0,0045		150	395	0,13	0,06			
55	R _{л2} , Ом	0,028								
56	X _{л2} , Ом	0,002								
57	R _т , Ом	0,003								
58	X _т , Ом	0,015								
59	Z, Ом	0,049								
60	U ₀₂ , В	399								
61	I _к ⁽³⁾ , А	4729,39								
62	F _{тп} , мм ²	15,26	35							
					Tr-ри	Uвн	Uнн	Sном	Px	Pк
					ТМ-250	10	0,4	250	1,05	3,7
					ТМ-400	10	0,4	400	1,45	5,6
					ТМ-630	10	0,4	630	1,18	8,5
					ТМ-1000	10	0,4	1000	3,3	11,6
									Iх	ик
									2,3	4,5
									2,1	6
									2	6
									3	5,5

Рисунок 4.5 – Вибір та перевірка мережі живлення

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Для безпечної експлуатації електрообладнання заводу вжито низку заходів, зокрема, допуск персоналу (в мережах до 1000 В – не нижче IV групи допуску, в мережах вище 1000 В – V група допуску), подвійна ізоляція кабелів, прокладених в цеху, використання індивідуальних засобів захисту при роботі в електроустановках, захисне вимкнення (ПЗВ), глухозаземлена нейтраль мережі 400 В, з'єднання неструмовідних частин електроустановок з контуром заземлення.

Розрахунок контуру заземлення цеху в'яжучих матеріалів виконано згідно з [25]:

$$l = (60 + 48) \cdot 2 = 216 \text{ м};$$

$$R_{\Gamma} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 216} \cdot \ln \frac{216^2}{0,4 \cdot 0,04} = 2,1 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{H}} = 10 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{B}} = \frac{2,1 \cdot 10}{2,1 + 10} = 1,71 \text{ Ом};$$

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

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

$$n_{\text{B}} = \frac{55}{1,71 \cdot 0,65} = 49,3 \text{ шт} \Rightarrow n_{\text{B}} = 50 \text{ шт};$$

$$R_{\text{шт}} = \frac{55 \cdot 2,1}{0,3 \cdot 55 + 0,65 \cdot 50 \cdot 2,1} = 1,36 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом}.$$

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу будівельних матеріалів встановленою потужністю 1600 кВт. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Карпик Б.В.							
Перевір.		Вігер Д.В.					38	1	
						ФАБЕ, гр.ЕЕ-41			
Н. контр.		Вашелюк Ю.І.							
Затверд.		Волинець В.І.							

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

В процесі проєктування системи електропостачання заводу будівельних матеріалів дотримано усіх вимог, наведених в [1 – 3].

Для надійного електропостачання приймачів II категорії прийнято такі рішення:

два незалежних джерела живлення (двотрансформаторна підстанція; два паралельних кабелі зовнішнього живлення) з перемичками на боці високої 10 кВ та низької 0,4 кВ напруги; перемички оснащено комутаційними апаратами для ручного вмикання резервування;

кабельні лінії внутрішньозаводської розподільної мережі, що живлять споживачів II категорії, також виконано дволанковими; для резервування між ввідно-розподільними пристроями цехів передбачено кабелі, що знаходяться в «холодному» резерві;

нейтраль мережі 10 кВ ізольована, що дає можливість безперебійного електропостачання в нормальному, післяаварійному режимах та в режимі однофазного короткого замикання.

Надійність роботи електрообладнання забезпечено апаратами захисту високої та низької напруги від струмів короткого замикання, струмів перевантаження, грозових та експлуатаційних перенапруг.

Електричні мережі можна вважати економічними завдяки таким заходам:

мінімальна довжина кабельних ліній 400 В (пов'язано з розташуванням підстанції в центрі навантажень);

вибір найбільш економічних перерізів кабелів 10 кВ та потужностей силових трансформаторів, для яких отримано мінімальні приведені затрати.

Розроблена електрична система є безпечною в експлуатації завдяки наявним контурам заземлення цехів та будівель, пристроям захисного вимкнення, належному рівню ізоляції кабелів.

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила улаштування електроустановок : видання офіційне. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 620 с.
2. Мілих В.І., Павленко Т.П. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей : Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
3. Давиденко Л.В., Коменда Н.В, Давиденко В.А., Євсюк М.М. Електропостачання промислових об'єктів : практикум : навчальний посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244с.
4. Промислові LED світильники : каталог. URL : https://ledmir.com.ua/industrial_led_lights
5. Трансформатори силові типу ТМ. URL : http://cabex.com.ua/ru/produkcija/transformatori/transformatori_silovie_tipa_tm.html
6. Установки компенсації реактивної потужності ККУ-0,4. URL : <https://avelectric.com.ua/ua/g77561771-ustanovki-kompensatsii-reaktivnoj>
7. Електричні системи та мережі : методичні вказівки до виконання курсової роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання ; уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 72с.
8. Силові кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену : каталог. URL : <https://amperia.com.ua/ua/g32628816-silovye-kabeli-izolyatsiej>.
9. Пункт розподільний ЕУ-ПР11 : каталог. URL : <https://www.enersys.in.ua/vyrobnytstvo/punkt-rozpodilnyi.html>.

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

23. Роз'єднувач РЕ-19 : каталог продукції : Промелектросервіс. URL: <http://www.elektro-portal.com/series/show/razedinitel-re19>.
24. Електроприймачі в системах електроспоживання : навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форм навчання / уклад. І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк, І.О. Бандура. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. 262с.
25. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. та ін. Електробезпека : підручник. Харків : УкрДЗТ, 2018. 295 с.

					ЛНТУ.971011.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		