

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 ЗАВОДУ З ВИРОБНИЦТВА
ПРЕСШПАНУ ВСТАНОВЛЕНОЮ ПОТУЖНІСТЮ
2500 кВт

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

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

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЕ-42
Ярмольський Андрій Іванович

(підпис)

Керівник: асистент
Денисовець Тетяна Миколаївна

(підпис)

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

(підпис)

Луцьк – 2026 року

АНОТАЦІЯ

ЯРМОЛЬСЬКИЙ А. І. Електропостачання заводу з виробництва пресшпану встановленою потужністю 2500 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 заводу з виробництва пресшпану встановленою потужністю 2500 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 74 сторінок, 11 рисунків, 24 таблиці, 25 джерел літератури.

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

ANNOTATION

YARMOLSKYI A. Power supply of a pressboard production plant with an installed capacity of 2500 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 pressboard production plant an installed capacity of 2500 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 74 pages, 11 figures, 24 tables, 25 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 картоноробного 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 картоноробного цеху	21
2.11. Розрахунок струмів короткого замикання	23
2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ	23
2.11.2. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ	25
2.12. Вибір обладнання	29
2.12.1. Вибір комірок	29
2.12.2. Вибір роз'єднувачів	29
2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників	30
2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів	30
2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури	31
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК СЕП КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ	33
РОЗДІЛ 4 САПР	36
РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	38
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	40
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	41
ДОДАТКИ	44

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Ярмольський А.І.			Електропостачання заводу з виробництва пресшпану встановленою потужністю 2500 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Денисовець Т.М.				Д	6	74
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Затвердив		Волинець В.І.						

ВСТУП

Виробництво пресшпану є енергоємним технологічним процесом, що базується на роботі потужних розмелювальних агрегатів, папероробних машин та систем термічної обробки. Надійність системи електропостачання (СЕП) такого заводу прямо впливає на стабільність якісних показників ізоляційного матеріалу та запобігання аварійним зупинкам безперервного циклу. Проектування сучасної СЕП є необхідною умовою для забезпечення енергоефективності та конкурентоспроможності підприємства.

Тому необхідно розробити технічно обґрунтовану та надійну систему електропостачання заводу з виробництва пресшпану, яка забезпечить безперебійний розподіл енергії та раціональне її використання.

Ключовими завданнями, які необхідно вирішити є:

1. Визначення електричних параметрів технологічних ліній та допоміжних цехів.
2. Вибір оптимальної схеми живлення (10/0,4 кВ) та розрахунок потужності трансформаторних підстанцій.
3. Підбір захисної апаратури, кабельних ліній та пристроїв компенсації реактивної потужності.

Об'єктом проектування будуть внутрішні та зовнішні електричні мережі заводу з виготовлення пресшпану.

Впровадження проєктних рішень дозволить мінімізувати втрати напруги та забезпечити гнучкість системи при можливій модернізації виробництва.

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

До складу проєктованого заводу входять профільні виробничі потужності - цехи підготовки маси, картоноробний та сушильний. Допоміжна та адміністративно-побутова частина підприємства охоплює котельню, насосну станцію, складські приміщення та адміністративну будівлю, що разом формують цілісний промисловий комплекс.

Технологічний процес виробництва пресшпану базується на переробці целюлозної маси та включає такі ключові етапи:

1. Підготовка маси - вихідна сировина (сульфатна целюлоза або бавовняна маса) піддається розпушенню у гідророзбивачах та подальшому розмелу в ролах або конічних млинах. На цьому етапі досягається необхідна ступінь фібриляції волокон, що забезпечує високу механічну міцність майбутнього виробу.

2. Формування полотна - підготовлена паперова маса, розбавлена водою до низької концентрації, подається на картоноробну машину. Шляхом напуску суспензії на сітку відбувається зневоднення волокон та формування безперервного елементарного шару. Для отримання товстого пресшпану кілька шарів поєднуються під тиском.

3. Пресування - сформоване сире полотно проходить через систему пресових валів. Під високим механічним тиском видаляється надлишкова волога та відбувається ущільнення структури, що критично важливо для забезпечення діелектричної міцності.

4. Сушіння - вологий картон надходить у сушильний цех, де він проходить через багатоциліндрові сушарки або конвеєрні камери. Теплове оброблення видаляє залишки вологи до нормованого рівня (зазвичай 6-8%).

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Ярмольський А.І.			Електропостачання заводу з виробництва пресшпану встановленою потужністю 2500 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Денисовець Т.М.				Д	8	3
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Затвердив		Волинець В.І.						

5. Оздоблення та каландрування - надання пресшпану гладкості та точності товщини його пропускають через систему важких металевих валів. На завершення проводиться поздовжня та поперечна різка на листи або рулони заданих форматів.

6. Контроль якості - готовий пресшпан проходить випробування на електричну міцність (пробій), вологостійкість та щільність, після чого маркується та відправляється на склад.

На рисунку 1.1 зображено генеральний план проєктованого підприємства.

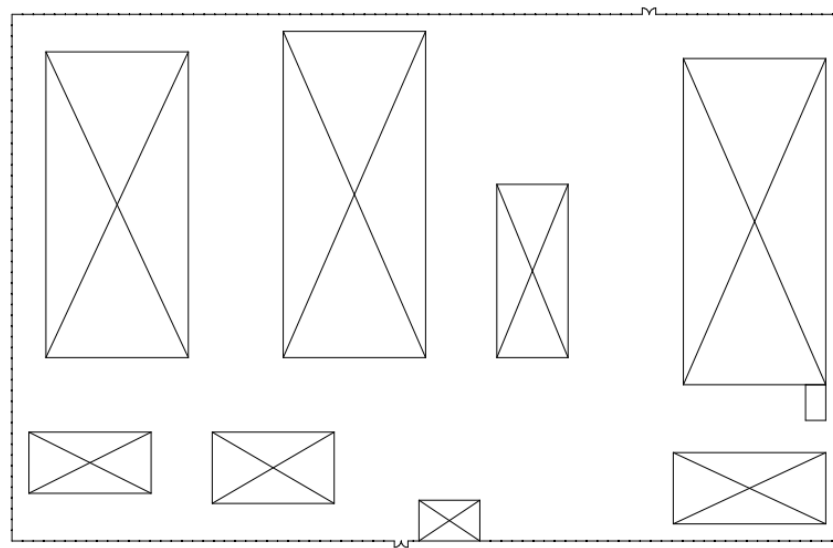


Рисунок 1.1 – Генеральний план підприємства

Для обґрунтування параметрів системи електропостачання виконано розрахунок навантажень картоноробного цеху з урахуванням специфіки роботи його парку обладнання. До складу об'єкта розрахунку входять центробіжні очищувачі, вібросита, приводні вузли валів та транспортерів, сушильні та каландрові установки, поздовжньо-різальні верстати, намотувальні барабани, а також загальноцехові компресори.

Параметри для проєктування:

- площа заводу - 38000 м²;
- площа цехів та будівель - 15534 м²;
- встановлена потужність заводу - 2500 кВт;

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- відстань до ДЖ заводу -1,1 км;
- потужність струму КЗ на шинах ДЖ - 90 МВА;
- режим роботи - тризмінний;
- кількість годин роботи обладнання в рік - 6000 год;
- кількість годин роботи обладнання при максимальному навантаженні - 5700 год;
- реактивна потужність, яка дозволена до використання енергосистемою - 750 кВАр.

Встановлена потужність та площа наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Встановлена потужність та площа цехів підприємства

Назва цеху	Встановлена потужність $P_{вст}$, кВт	Площа цехів F , м ²
Картоноробний цех	383	4032
Цех підготовки маси	670	4032
Склад	135	3800
Котельня	375	770
Насосна станція	420	660
Адміністрація	23	1070
Сушильний цех	490	950
Прохідна	4	220
Разом	2500	15534

Забезпечення безперебійності живлення заводу реалізується згідно з категорійністю його споживачів. Технологічне ядро (93,8%), що охоплює цехи, котельню та насосну станцію, віднесено до II категорії. Винятком є картоноробна машина (0,2%), яка за вимогами безперервності процесу належить до I категорії. Допоміжна інфраструктура підприємства (6%) забезпечується електропостачанням за III категорією надійності.

ОСНОВНІ ПРОЄКТНІ РІШЕННЯ

2.1. Розрахунок силових електричних навантажень

Визначення розрахункових параметрів навантаження для картоноробного цеху здійснено за методикою [1] (див. додаток А.1). Підсумкові дані, що є базою для подальшого проєктування системи електропостачання, занесено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Визначення розрахункових навантажень картоноробного цеху

Назва групи приймачів електричної енергії	Встановлена потужність, <i>кВт</i>		<i>n</i>	<i>K_{вик}</i>	<i>m</i>	<i>tgφ</i>	Середнє навантаження за найбільш завантажену зміну		<i>n_{еф}</i>	<i>K_{max}</i>	Розрахункове навантаження	
	<i>P_в</i>	<i>P_{ном}</i>					<i>P_{ср зм,}</i> <i>кВт</i>	<i>Q_{ср зм,}</i> <i>кВАр</i>			<i>P_{p,}</i> <i>кВт</i>	<i>Q_{p,}</i> <i>кВАр</i>
Споживачі з постійним графіком навантаження												
Центробіжний очишувач	74	148	2	0,7	-	1,33	103,6	137,79	-	-	103,6	137,79
Вібросито	4	8	2	0,8	-	0,48	6,4	3,07	-	-	6,4	3,07
Вал попередньої підготовки	4	8	2	0,6	-	1,52	4,8	7,30	-	-	4,8	7,30
Вали	12	60	5	0,6	-	1,73	36	62,28	-	-	36	62,28
Картоноробна машина	4	4	1	0,8	-	0,75	3,2	2,40	-	-	3,2	2,40
Сукняний транспортёр	10	10	1	0,6	-	1,33	6	7,98	-	-	6	7,98
Сушильна машина	4	4	1	0,6	-	1,33	2,4	3,19	-	-	2,4	3,19
Машинний каландр	10	10	1	0,6	-	1,33	6	7,98	-	-	6	7,98
Установка приводних валів	20	20	1	0,7	-	1,17	14	16,38	-	-	14	16,38
Повздовжньо- різальний верстат	20	20	1	0,6	-	1,33	12	15,96	-	-	12	15,96
Намотувальний барабан	10	10	1	0,6	-	1,33	6	7,98	-	-	6	7,98
Пакувальний прес	51	51	1	0,6	-	1,02	30,6	31,21	-	-	30,6	31,21
Компресор	30	30	1	0,75	-	1,02	22,5	22,95	-	-	22,5	22,95
Всього з ПГН	-	-	-	-	18,5	-	253,5	326,5	9,97	1	253,5	326,5
Разом	-	383	20	-	-	-	253,5	326,5	-	-	253,5	326,5

					ЛНТУ.971058.000 ПЗ						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання заводу з виробництва пресшпану встановленою потужністю 2500 кВт. Пояснювальна записка				Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Ярмольський А.І.								Д	10	22
Перевірив	Денисовець Т.М.										
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.										
Затвердив	Волинець В.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-42						

Аналогічно за «методом впорядкованих діаграм» [1] визначимо розрахункові навантаження для інших цехів та об'єктів заводу. Результати розрахунку зображені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Визначення розрахункових навантажень всього заводу

Назва цеху	Встановлена потужність $P_{\text{вст}}, \text{кВт}$	Розрахункові навантаження		
		$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВАр}$	$S_p, \text{кВА}$
Картоноробний цех	383	253,5	326,50	413,36
Цех підготовки маси	670	381,9	305,52	489,07
Склад	135	76,95	61,56	98,54
Котельня	375	213,75	171,00	273,73
Насосна станція	420	239,4	191,52	306,58
Адміністрація	23	13,11	10,49	16,79
Сушильний цех	490	279,3	223,44	357,68
Прохідна	4	2,28	1,82	2,92
Разом	2500	1460,19	1291,85	1958,67

2.2. Розрахунок освітлювальних навантажень

2.2.1. Розрахунок освітлювальних навантажень підприємства

Визначення параметрів освітлювального навантаження об'єкта реалізовано методом питомої потужності (питомої густини навантаження) відповідно до методологічних положень, викладених у додатку А.2. З метою оптимізації енергоспоживання та дотримання сучасних норм освітленості, проєктом передбачено застосування енергоощадних світлодіодних (LED) джерел світла. Підсумкові результати світлотехнічних розрахунків для всіх підрозділів підприємства систематизовано у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку освітлювальних навантажень

Назва	$E_{\text{норм}},$ лк	$F,$ м^2	$h,$ м	$P_{\text{норм}},$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$P_0,$ кВт	Тип лампи	$K_{\text{пра}}$	K_n	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{ро}},$ кВт	$Q_{\text{ро}},$ кВАр
Картоноробний цех	200	4032	9	15	60,48	LED	1,2	0,9	0,33	65,32	21,56
Цех підготовки маси	200	4032	9	15	60,48	LED	1,2	0,9	0,33	65,32	21,56
Склад	75	3800	9	10	38	LED	1,2	0,9	0,33	41,04	13,54
Котельня	75	770	9	8	6,16	LED	1,2	0,9	0,33	6,65	2,20
Насосна станція	75	660	9	10	6,6	LED	1,2	0,9	0,33	7,13	2,35
Адміністрація	250	1070	4	20	21,4	LED	1,2	0,9	0,33	23,11	7,63
Сушильний цех	200	950	9	15	14,25	LED	1,2	0,9	0,33	15,39	5,08
Прохідна	200	220	4	15	3,3	LED	1,2	0,9	0,33	3,56	1,18
Разом	-	15534	-	-	210,67	-	-	-	-	227,52	75,08

2.2.2. Розрахунок освітлювальної мережі картоноробного цеху

У даному розділі проєкту розробляється система штучного освітлення картоноробного цеху. Базовими вихідними даними для проєктування є площа приміщення, що становить 4032 м^2 , та нормативний показник питомої потужності на рівні 15 Вт/м^2 . Відповідно до енергоефективної стратегії об'єкта, за допомогою коефіцієнтів перерахунку здійснено адаптацію значень питомої потужності для використання напівпровідникових світлодіодних (LED) джерел світла.

$$P_{\text{нормLED}} = \frac{P_{\text{нормLP}}}{6,66} = \frac{15}{6,66} = 2,25 \text{ Вт/м}^2.$$

Згідно плану ми намічаємо собі 4 ряди по 20 світильників в кожному. Підставляємо відомі значення у вираз та знайдемо потужність лампи.

$$P_{\text{л}} = \frac{4032 \cdot 2,25}{80} = 113,4 \text{ Вт.}$$

Вибираємо світлодіодний світильник Led-Story PROFI [5] (Led-Story) потужністю 120 Вт.

Перерахуємо кількість світильників з врахуванням вибраної потужності:

$$N_{\text{св}} = \frac{4032 \cdot 2,25}{120} = 75,6 \text{ шт.}$$

Приймаємо до встановлення в цеху 76 світильників (4 ряди по 19 світильників в кожному ряду).

В якості освітлювального щитка вибираємо щиток робочого освітлення типу ЩО-4 (Білмакс), номінальний струм якого 50 А. Живлення світильників від освітлювального щитка здійснюється проводом ПВС-3х4 з $I_{\text{тр.дон}}=34$ А (Одескабель). Аварійне освітлення цеху не передбачено.

2.3. Визначення сумарних навантажень

Розрахунок повного сумарного навантаження об'єкта проведено за методикою [6] на основі поєднання результатів обчислень силових та освітлювальних мереж всіх структурних підрозділів підприємства. Зведені показники розрахункової потужності представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку сумарних навантажень

Назва	$P_{\text{ср зм}},$ кВт	$Q_{\text{ср зм}},$ кВАр	$P_{\text{ро}},$ кВт	$Q_{\text{ро}},$ кВАр	$P_{\text{рΣ}},$ кВт	$Q_{\text{рΣ}},$ кВАр	$S_{\text{рΣ}},$ кВА
Картоноробний цех	253,5	326,50	65,32	21,56	318,82	348,06	472,00
Цех підготовки маси	381,9	305,52	65,32	21,56	447,22	327,08	554,06
Склад	76,95	61,56	41,04	13,54	117,99	75,10	139,86
Котельня	213,75	171,00	6,65	2,20	220,40	173,20	280,31
Насосна станція	239,4	191,52	7,13	2,35	246,53	193,87	313,63
Адміністрація	13,11	10,49	23,11	7,63	36,22	18,11	40,50
Сушильний цех	279,3	223,44	15,39	5,08	294,69	228,52	372,91
Прохідна	2,28	1,82	3,56	1,18	5,84	3,00	6,57
Разом	1460,19	1291,85	227,52	75,08	1687,71	1366,93	2171,84

2.4. Розрахунок картограми навантажень та визначення теоретичного центру навантажень

Для забезпечення високої економічної ефективності системи електропостачання виконано розрахунок умовного центру зосередження електричних потужностей та побудову картограми навантажень підприємства. Візуалізація енергетичного потенціалу цехів у вигляді кіл відповідного радіуса дозволяє обґрунтувати місце розташування джерел живлення відносно основних споживачів. Результати обчислень просторових координат наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку картограми електричних навантажень

Назва	X, м	Y, м	$P_{p\Sigma} \cdot x$	$P_{p\Sigma} \cdot y$	R, см	α , град.
Картоноробний цех	101	103	32200,66	32838,30	10	74
Цех підготовки маси	217	94	97046,39	42038,53	12	53
Склад	31	98	3657,69	11563,02	6	125
Котельня	77	22	16971,02	4848,86	8	11
Насосна станція	23	23	5670,14	5670,14	9	10
Адміністрація	151	79	5469,52	2861,54	3	230
Сушильний цех	217	14	63947,73	4125,66	10	19
Прохідна	128	6	748,03	35,06	1	220
Разом	-	-	225711,18	103981,11	-	-

Визначаємо координати центру активних навантажень за виразами А.3.2-А.3.3 (додатку А.3):

$$X_{\text{ЦЕН}} = \frac{225711,18}{1687,71} = 134 \text{ м},$$

$$Y_{\text{ЦЕН}} = \frac{103981,11}{1687,71} = 62 \text{ м}.$$

2.5. Вибір кількості та потужності трансформаторів

З метою формування раціональної структури системи електропостачання виконано розрахунок одиничної потужності та загального числа трансформаторів ТП. Обчислення базуються на аналітичних залежностях, викладених у додатку А.4, з урахуванням коефіцієнтів завантаження, категорійності споживачів та стратегії енергозбереження підприємства. Підсумкові результати вибору електрообладнання наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняння варіантів вибору потужності силових трансформаторів ТП

Показник	Варіант I	Варіант II
$P_{p\Sigma}$, кВт	1687,71	1687,71
$Q_{p\Sigma}$, кВАр	1366,93	1366,93
$S_{p\Sigma}$, кВА	2171,83	2171,83
F , м ²	15534	15534
σ , кВА/м ²	0,14	0,14
Тип трансформатора	ТМ-1600	ТМ-1250
N_{min} , шт	1,5	1,9
m , шт	0	0
N_{onm} , шт	2	2
$Q_{max\ T}$, кВАр	1472,83	462,75
$Q_{НБК\ 1}$, кВАр	-105,90	904,18
K_{p1}	–	11
K_{p2}	–	17
γ	–	0,55
$Q_{НБК\ 2}$, кВАр	–	-637,25
$Q_{НБК}$, кВАр	–	904,18
Тип НБК	–	2хУКРМ(АКУ)-0,4-520-40
ΔP_X , кВт	2,1	1,6
ΔP_K , кВт	17,5	14,7
τ_M , год	4219,1	4219,1
ΔW , тис.кВт·год	104,81	121,65
C_e , тис.грн	880,431	1021,831
K , тис.грн	1500,00	1596,00
$З$, тис.грн	1067,93	1221,33

На основі проведеного порівняльного аналізу техніко-економічних показників встановлено, що перший варіант конфігурації підстанції характеризується мінімальними приведеними витратами. Враховуючи отриманий результат, до впровадження прийнято встановлення двох силових трансформаторів типу ТМ-1600/10, що забезпечує оптимальний баланс між капітальними вкладеннями та експлуатаційними витратами.

Перевіримо їх на перевантажувальну здатність з врахуванням відключення споживачів III категорії надійності, які мають потужність 186,93 кВА:

$$1,4 \cdot 1600 = 2240 > \frac{2 \cdot (2171,84 - 186,93)}{2} = 1984,91 \text{ кВА.}$$

Умова виконується. Отже, приймаємо до встановлення трансформатор ТМ-1600/10 (ЗТЗ).

2.6. Компенсація реактивної потужності

Відповідно до методології, викладеної у додатку А.5, сумарна потужність компенсуючих пристроїв визначається на основі балансу між максимумом реактивного навантаження об'єкта та лімітованим значенням вхідної реактивної потужності, що регламентується енергопостачальною організацією [9]. Результати розрахунків систематизовано та представлено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку потужності ВБК

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Q_p	кВАр	1366,71
$Q_{\text{етах}}$	кВАр	750
$Q_{\text{НБК}}$	кВАр	0
ΔQ_T	кВАр	49,12
$k_{\text{НС}}$	—	0,9
Q_{M1}	кВАр	1230,04
Q_{K1}	кВАр	480,04
$Q_{\text{НСТ}}$	кВАр	1415,83
$Q_{\text{ВБК}}$	кВАр	529,16

Аналіз результатів розрахунку показав, що інтеграція конденсаторних установок потужністю 529,16 кВАр у мережу 10 кВ не є раціональною за критеріями капітальних інвестицій. Для досягнення максимального ефекту розвантаження елементів системи електропостачання, вузол генерації реактивної потужності перенесено безпосередньо до шин 0,4 кВ. Приймаємо до встановлення на кожну шину 0,4 кВ конденсаторні батареї УКРМ (АКУ)-0,4-280-20У3 [8] (Славгор).

2.7. Визначення електричних навантажень на вищих рівнях

Для ідентифікації параметрів енергоспоживання на верхніх ступенях СЕП використано ієрархічний принцип розрахунку (згідно з додатком А.6). Такий підхід забезпечує точність оцінки енергетичного балансу підприємства. Зокрема, розрахункові значення навантаження на стороні високої напруги визначені із застосуванням математичних залежностей (А.6.1, А.6.2):

$$S_{P4} = \sqrt{(1687,71 + 8,49)^2 + (1366,93 + 49,12 - 560)^2} = 1899,98 \text{ кВА},$$

$$\Delta P_{T1600} = 2 \cdot 2,1 + \frac{1}{2} \cdot 0,7^2 \cdot 17,5 = 8,49 \text{ кВт}.$$

2.8. Проектування зовнішньої мережі живлення підприємства

За додатком А.7 визначаємо струм післяаварійного режиму:

$$I_{n\text{ ав}} = \frac{1899,98}{\sqrt{3} \cdot 10} = 109,8 \text{ А}.$$

Для живлення трансформаторної підстанції вибираємо кабель марки АПвЕгаПу «кабелі силові трижильні з алюмінієвими СПЖ, ізоляцією зі

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Визначаємо розрахунковий струм в нормальному режимі за (А.7.5):

$$I_{\text{норм}} = \frac{1899,98}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 54,9 \text{ А.}$$

Результати вибору зведемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати вибору 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	$\Delta U_{\text{норм}}$, %	$\Delta U_{\text{на в}}$, %	K_3	ΔP_H , кВт	ΔP_D , кВт	C_e , тис. грн.	K , тис. грн.	3 , тис. грн.
35	119	128,52	0,894	0,095	80,675	0,807	1,614	0,427	48,730	8,892	315,134	1730,6	531,46
50	140	151,2	0,625	0,09	57,879	0,579	1,158	0,363	47,152	6,216	220,312	1838,13	450,08
70	171	184,68	0,447	0,086	42,751	0,428	0,855	0,297	50,311	4,446	157,567	2169,18	428,71
95	203	219,24	0,329	0,083	32,701	0,327	0,654	0,250	52,185	3,272	115,972	2249,3	397,13
120	232	250,56	0,261	0,081	26,892	0,269	0,538	0,219	54,073	2,596	92,002	2544,43	410,06

Кабель перерізом 95 мм² виявився найдешевшим, отже приймаємо кабель марки АПвЕгаПу-10-3×95 мм² (Південкабель) до встановлення.

2.9. Проектування внутрішньої розподільної мережі

Для внутрішньозаводської схеми живлення вибираємо змішану схему живлення, яку будемо виконувати кабелем марки ВБбШв (Південкабель) «кабелі силові з мідними СПЖ, із ізоляцією з ПВХ пластикату, броньовані сталевими оцинкованими стрічками, із захисним шлангом з ПВХ пластикату» [11].

Усі споживачі цехів під'єднуються до розподільних пунктів 0,4 кВ (рис. 2.1). Вибираємо до встановлення розподільні пункти ПР11 (Славгор) [12] з ввідними автоматичними вимикачами ВА88 (ІЕК). Розрахункові струми будемо визначати з виразом А.8.1 додатку А.8. Результати розрахунків занесено в таблиці 2.9 і 2.10.

					ЛНТУ.971058.000 ПЗ		Арк.
							19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 2.9 – Результати вибору розподільних пристроїв 0,4 кВ та захисної апаратури

Назва будівлі (цеху)	$S_{p\Sigma},$ 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 вимикача
Картоноробний цех	472,00	341,04	ПР11	630	20	2	1	РП3	ВА88-33
Цех підготовки маси	554,06	400,33	ПР11	630	17	2	1	РП1	ВА88-33
Склад	139,86	202,12	ПР11	630	8	1	1	РП8	ВА88-33
Котельня	280,31	202,54	ПР11	630	8	2	1	РП6	ВА88-33
Насосна станція	313,63	226,61	ПР11	630	6	2	1	РП7	ВА88-33
Адміністрація	40,50	58,52	ПР11	630	4	1	1	РП5	ВА88-33
Сушильний цех	372,91	269,44	ПР11	630	8	2	1	РП2	ВА88-33
Прохідна	6,57	9,49	ПР11	630	5	1	1	РП4	ВА88-33

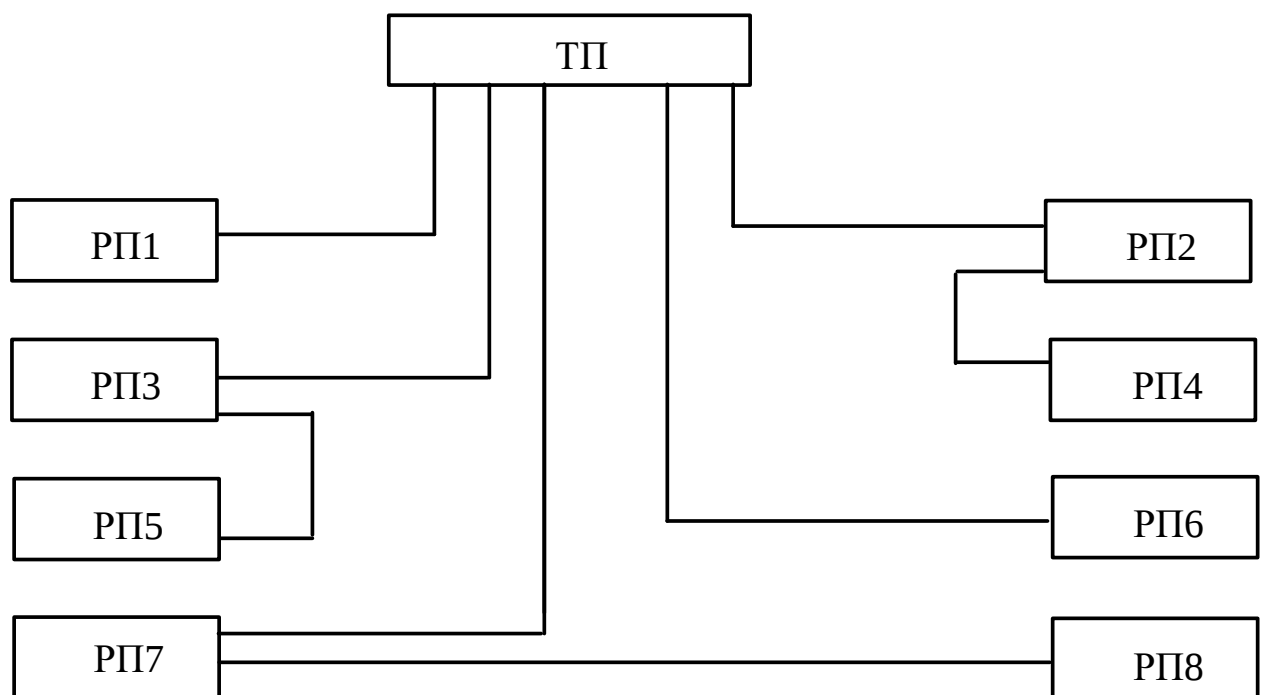


Рисунок 2.1 – Схема внутрішньозаводської мережі 0,4 кВ

Таблиця 2.10 – Результати перевірки вибраних перерізів КЛ 0,4 кВ

Назва КЛ	n	$S_{p\Sigma},$ кВА	$I_p,$ А	Переріз кабелю ВББШВ	$l,$ км	$I_{\text{доп}},$ А	$F_e,$ мм ²	$I_{n\text{ав}},$ А	$I'_{n.ab},$ А	$r_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$x_0,$ $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$	$\Delta U_{\text{норм}},$ %	$\Delta U_{n\text{ав}},$ %
ТП-РП1	2	554,06	400,33	4х240	0,018	435	148	432,36	434,52	0,077	0,077	0,35	0,38
ТП-РП3	2	512,50	370,30	4х240	0,142	435	137	399,93	401,93	0,077	0,077	2,58	2,79
ТП-РП7	2	453,49	327,67	4х240	0,224	435	121	393,20	395,17	0,077	0,077	3,60	4,32
ТП-РП6	2	280,31	202,54	4х95	0,17	259	75	243,04	244,26	0,195	0,081	3,21	3,85
ТП-РП2	2	379,48	274,19	4х150	0,038	332	102	329,03	330,67	0,124	0,079	0,70	0,83
РП3-РП5	1	40,50	58,53	4х25	0,059	123	22	58,53	58,82	0,74	0,091	1,02	1,02
РП7-РП8	1	139,86	202,11	4х95	0,027	259	75	202,11	203,12	0,195	0,081	0,51	0,51
РП2-РП4	1	6,57	9,49	4х4	0,088	43	4	9,49	9,54	4,63	0,102	1,43	1,43

Проведена перевірка підтвердила, що обрані перерізи кабельних ліній повністю відповідають вимогам щодо допустимих втрат напруги в нормальних режимах роботи. З огляду на відповідність технічним параметрам та умовам прокладання, до впровадження остаточно прийнято кабелі марки ВББШВ-1 із раніше визначеними перерізами.

2.10. Вибір схеми електропостачання картоноробного цеху

Приймачі цеху відносяться переважно до II категорії надійності електропостачання (до I категорії відноситься картоноробна машина). Для їх живлення вибираємо радіальну схему живлення від РП-0,4 кВ. В якості розподільного пункту в п. 2.9 було вибрано розподільні пункти марки РП11 (Славгор).

Розрахункове навантаження картоноробного цеху становить $S_p=512,5$ кВА (з врахуванням потужності адміністрації 40,5 кВА).

Визначимо струм нормального режиму:

					ЛНТУ.971058.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$I_p = \frac{512,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 2} = 370,3 \text{ А.}$$

На основі розрахункових даних, наведених у п. 2.9, для забезпечення живлення об'єкта (включаючи споживачів адміністрації) обрано кабель ВБбШв-4х240-1 з номінальною пропускною здатністю 435 А. Ідентифікація оптимального перерізу реалізована згідно з виразом (А.8.1) з урахуванням розрахункових струмів та енергетичних показників мережі. Проектом передбачено прокладання ліній на лоткових конструкціях, що враховано при визначенні поправочних коефіцієнтів. Зведені дані щодо технічних характеристик обраних ліній представлені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Результати вибору перерізів КЛ 0,4 кВ картоноробного цеху

Назва обладнання	Номінальна потужність P_H , кВт	Кількість, шт	$\cos \varphi$	I_p , А	Переріз кабелю ВВГнгд	$I_{доп}$, А
Центробіжний очищувач	74	2	0,6	178,23	5х70	214
Вібросито	4	2	0,9	6,42	5х4	43
Вал попередньої підготовки	4	2	0,55	10,51	5х4	43
Вали	12	5	0,5	34,68	5х4	43
Картоноробна машина	4	1	0,8	7,23	5х4	43
Сукняний транспортер	10	1	0,6	24,08	5х4	43
Сушильна машина	4	1	0,6	9,63	5х4	43
Машинний каландр	10	1	0,6	24,08	5х4	43
Установка приводних валів	20	1	0,65	44,46	5х6	54
Повздовжньо-різальний верстат	20	1	0,6	48,17	5х6	54
Намотувальний барабан	10	1	0,6	24,08	5х4	43
Пакувальний прес	51	1	0,7	105,28	5х25	123
Компресор	30	1	0,7	61,93	5х10	73

Так як усі перевірки виконуються, то приймаємо до встановлення вибрані перерізи кабелів.

2.11. Розрахунок струмів короткого замикання

2.11.1. Розрахунок струмів короткого замикання на стороні 10 кВ

$S_{\delta}=100 \text{ МВА}; U_{\delta}=U_{cp}=10,5 \text{ кВ}; S_{K3}=90 \text{ МВА}.$

Опір системи:

$$\dot{X}_{C*} = \frac{100}{90} = 1,11.$$

На рисунках 2.2 та 2.3 зображена розрахункова та схема заміщення.

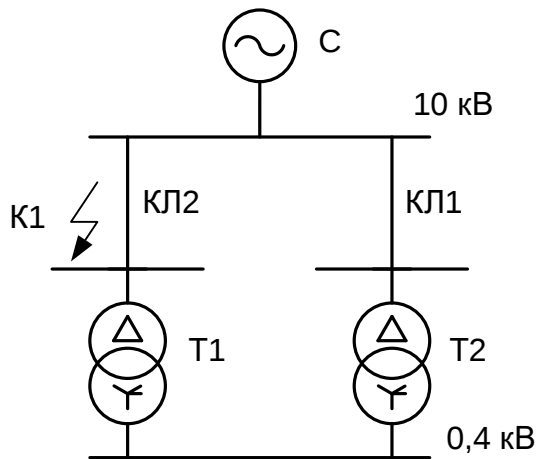


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема

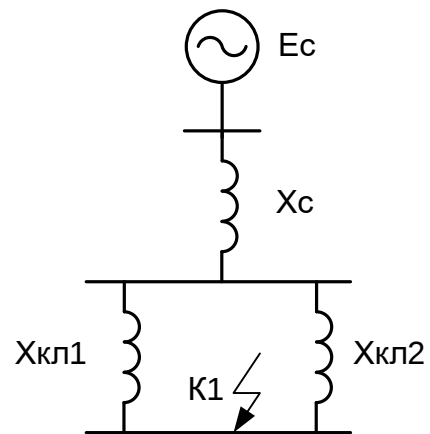


Рисунок 2.3 – Схема заміщення

Опір кабельної лінії:

$$x_{KL1*} = 1,1 \cdot 0,083 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,083.$$

Опір паралельних ліній за формулою (рис. 2.4):

$$x_{KL12*} = \frac{0,083}{2} = 0,041.$$

Результуючий опір (рис. 2.5):

$$X_{рез*} = 1,11 + 0,041 = 1,151.$$

Схема набуває вигляду, зображеного на рисунку 2.5.

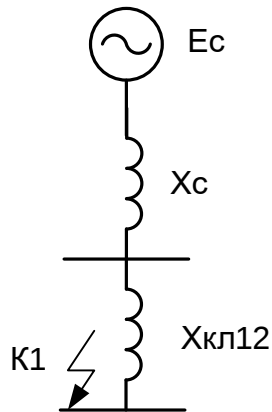


Рисунок 2.4 – Перетворення
схеми заміщення

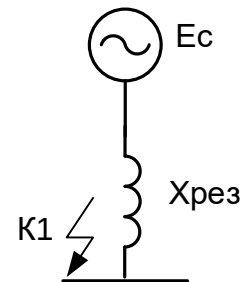


Рисунок 2.5 – Результуючий опір

Струм КЗ в точці К1 становить:

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

$$I_{no} = \frac{5,5}{1,151} = 4,78 \text{ кА}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 4,78 = 8,78 \text{ кА}.$$

Визначимо мінімальний переріз кабелю, який буде стійким до термічної дії струмів короткого замикання:

$$F_{\min} = \frac{4780}{98} \cdot \sqrt{0,25} = 24,4 \text{ мм}^2.$$

					ЛНТУ.971058.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі проведених розрахунків встановлено, що мінімально допустимий переріз провідника за умов термічної стійкості становить 24,4 мм². З огляду на значне перевищення фактичного перерізу над розрахунковим мінімумом, до впровадження остаточно прийнято кабель марки АПвЕгаПу-10-3×95 мм², що гарантує надійну роботу лінії в усіх режимах експлуатації.

Розрахуємо також тепловий імпульс струму короткого замикання:

$$B_K = 4,78^2 \cdot 0,25 = 5,71 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

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

$U_o = 0,4 \text{ кВ}$; $I_{KB} = 4,78 \text{ кА}$; $U_{CBH} = 10,5 \text{ кВ}$; $S_T = 1600 \text{ кВА}$, $\Delta P_K = 17,5 \text{ кВт}$,
 $u_K = 6\%$.

Параметри вибраної лінії подано в таблиці 2.12.

Реактивний опір системи:

$$x_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,78} = 1,27 \text{ Ом}.$$

Активний опір системи:

$$r_c = r_o \cdot l = 0,329 \cdot 1,1 = 0,362 \text{ Ом}.$$

Опір системи, який приведений до нижчої напруги:

- реактивний:

$$x_c^o = 1,27 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 1,84 \text{ мОм};$$

- активний:

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_c^o = 0,362 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,52 \text{ мОм.}$$

На рисунках 2.6 та 2.7 показано розрахункову схему ТП та схему заміщення КЗ кола:

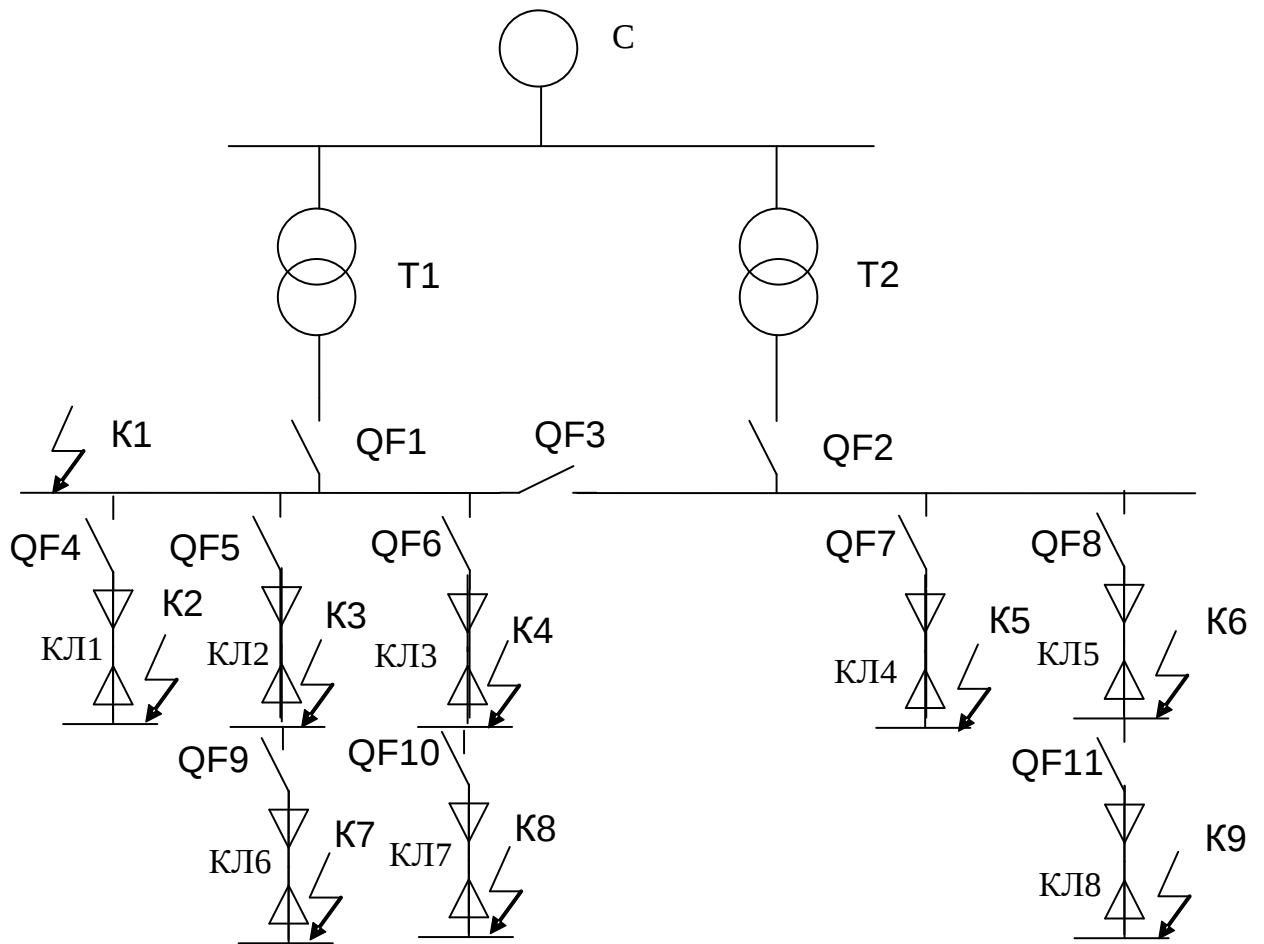


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема КЗ кола

Опори трансформатора:

– активний:

$$r_T = \frac{17,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4^2}{1,6^2} = 1,09 \text{ мОм ;}$$

– реактивний:

$$x_T = \frac{6}{100} \cdot \frac{0,4^2}{1600} = 0,006 \text{ мОм.}$$

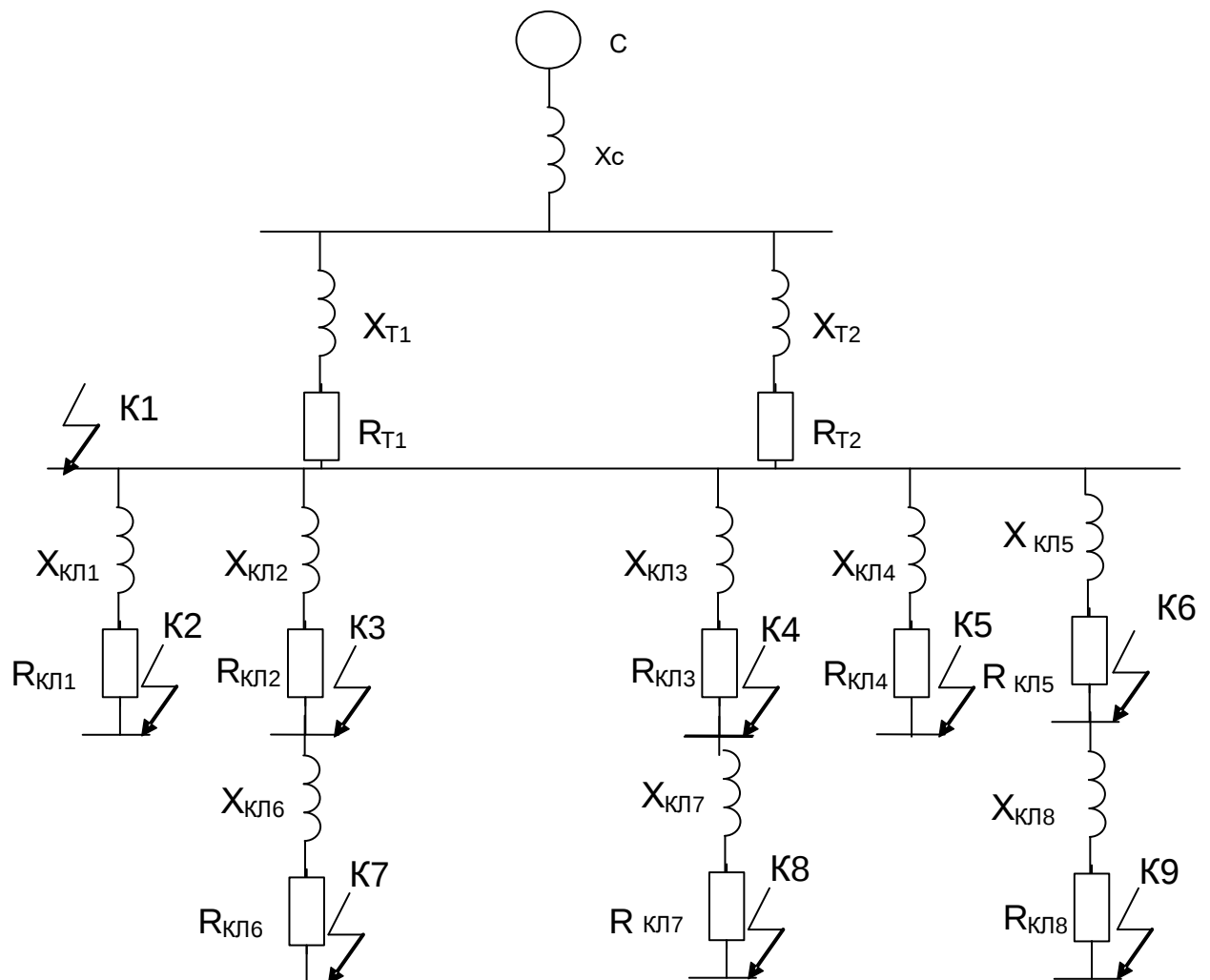


Рисунок 2.7 – Схема заміщення КЗ кола

Результуючі опори до точки К1:

– реактивний:

$$x_{рез1}^o = 1,81 + 0,006 = 1,816 \text{ мОм;}$$

– активний:

$$r_{рез1}^o = 0,52 + 1,09 + 15 = 16,61 \text{ мОм.}$$

У таблиці 2.12 показано розрахунок опорів ліній.

Таблиця 2.12 - Результати розрахунку опорів ліній

Назва КЛ	l , км	r_o , Ом/км	r , Ом	χ_o , Ом/км	χ , Ом
КЛ1	0,018	0,077	1,386	0,077	1,39
КЛ2	0,142	0,077	10,934	0,077	10,93
КЛ3	0,224	0,077	17,248	0,077	17,25
КЛ4	0,17	0,195	33,15	0,081	13,77
КЛ5	0,038	0,124	4,712	0,079	3,00
КЛ6	0,059	0,74	43,66	0,091	5,37
КЛ7	0,027	0,195	5,265	0,081	2,19
КЛ8	0,088	4,63	407,44	0,102	8,98

Подальше проектування передбачає перевірку кабельних ліній на здатність витримувати термічний вплив струмів КЗ згідно з методологією, викладеною у додатку (вираз А.9.7). Даний етап дозволяє гарантувати цілісність ізоляції провідників при виникненні аварійних режимів. Підсумкові показники перевірки наведені у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати перевірки вибраних перерізів КЛ

Точка КЗ	$\chi_{рез}$, 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
К1	1,816	15	16,61	16,71	13,84	1,3	25,36	—	—
К2	3,20	20	37,996	38,13	6,06	1	8,55	25,7	240
К3	12,75	20	47,544	49,22	4,70	1	6,62	19,9	240
К4	19,06	20	53,858	57,13	4,05	1	5,71	17,1	240
К5	15,59	20	69,76	71,48	3,23	1	4,56	13,7	95
К6	4,82	20	41,322	41,60	5,56	1	7,84	23,5	150
К7	8,57	25	106,656	107,00	2,16	1	3,05	9,2	25
К8	14,94	25	77,809	79,23	2,92	1	4,11	12,4	95
К9	28,04	25	486,298	487,11	0,47	1	0,67	2,0	4

Так як вибрані перерізи кабелів більші за мінімальні, то приймаємо їх до влаштування остаточно.

2.12. Вибір обладнання

2.12.1. Вибір комірок

На стороні 10 кВ ТП-10/0,4 кВ вибираємо комірки збірні одностороннього обслуговування типу КСО-393М (Славгор) [16]. За виразами (А.11.1)-(А.11.5) здійснюємо вибір та перевірку відповідно до додатку А.11.

Результати перевірки зведемо в таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Вибір комірок КСО

Каталожні дані	Розрахункові дані
$U_{\text{ном.крп}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.крп}}=630 \text{ А}$	$I_{\text{р.мах}}=109,8 \text{ А}$
$I_{\text{ном.відкл.крп}}=20 \text{ кА}$	$I_{\text{к.мах}}=4,78 \text{ кА}$
$i_{\text{ном.дин.крп}}=51 \text{ кА}$	$i_{\text{у.мах}}=8,78 \text{ кА}$
$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{к}}=4,78^2 \cdot 0,25= 5,71 \text{ кА}^2\text{с}$

Приймаємо остаточно комірки типу КСО-393М до встановлення.

2.12.2. Вибір роз'єднувачів

Комірки КСО-393М комплектуються роз'єднувачами з заземлюючими ножами РВЗ-10 [17] (Славгор). Результати перевірки зведемо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.15 – Вибір роз'єднувачів 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}}=10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ}$
$I_{\text{норм}}=54,9 \text{ А}$ $I_{\text{макс}}=109,8 \text{ А}$	$I_{\text{ном}}=630 \text{ А}$
$i_{\text{у}}=8,78 \text{ кА}$	$i_{\text{гр наскр}}=51 \text{ кА}$
$B_{\text{к}}=4,78^2 \cdot 0,25=5,71 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_{\text{т}}=20^2 \cdot 1=400 \text{ кА}^2\text{с}$

Приймаємо остаточно роз'єднувачі типу РВЗ 10/630-ІІ-200 УЗ.

2.12.3. Вибір вимикачів навантаження та запобіжників

Комірки КСО-393М комплектуються також вимикачами навантаження без запобіжника та з запобіжником. Приймаємо до встановлення вимикачі навантаження типу ВНА-10 з приводом ПР-10 [18].

Результати перевірки вимикачів навантаження показано в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Вибір вимикачів навантаження 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} = 54,9 \text{ А}$ $I_{макс} = 109,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$i_y = 8,78 \text{ кА}$	$i_{гр наскр} = 25 \text{ кА}$
$I_{по} = 4,78 \text{ кА}$	$I_{гр наскр} = 10 \text{ кА}$
$B_k = 4,78^2 \cdot 0,25 = 5,71 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 t_m = 25^2 \cdot 1 = 625 \text{ кА}^2\text{с}$
$I_{макс} = 109,8 \text{ А}$	$I_{ном.з} = 100 \text{ А}$
$I_{макс} = 109,8 \text{ А}$	$I_{вимк з} = 630 \text{ кА}$
$S'' = 90 \text{ МВА}$	$S_{вимк з} = 200 \text{ МВА}$

Приймаємо остаточно вимикач навантаження з запобіжником ВНА 10/630-II-П-20 УЗ та ВНА 10/630-II-20 УЗ без запобіжника.

2.12.4. Вибір автоматичних вимикачів

На стороні 0,4 кВ ТП встановлюємо комірки типу ЩО-90 (Славгор) [19], де встановлено на вводі та між секціями автоматичні вимикачі серії ВА88 [20] (ІЕК), які перевіряємо за умовами, як наведено в додатку А.12.

Вибір та перевірку зведемо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Вибір автоматичних вимикачів

Назва вимикача	Тип вимикача ВА88	Каталожні дані			Розрахункові дані		
		$U_{ном. АВ},$ кВ	$I_{ном. розщ},$ А	$I_{гр. вимк},$ кА	$U_{ном},$ кВ	$I_p, А$	$I_K, кА$
QF1	ВА88-43	0,4	1600	50	0,4	1533	13,86
QF2	ВА88-43	0,4	1600	50	0,4	1533	13,86
QF3	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	400,33	6,06
QF4	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	370,30	4,70
QF5	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	327,67	4,05
QF6	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	202,54	3,23
QF7	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	274,19	5,56
QF8	ВА88-43	0,4	1600	50	0,4	1533	13,86
QF9	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	400,33	6,06
QF10	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	370,30	4,70
QF11	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	327,67	4,05
QF12	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	202,54	3,23
QF13	ВА88-40	0,4	500	35	0,4	274,19	5,56

Отже, приймаємо до встановлення вибрані вимикачі.

2.12.5. Вибір вимірювальної апаратури

Відповідно до вимог щодо розрахункового обліку, на вводах НН встановлюються лічильники Iskra [21], що працюють у поєднанні з трансформаторами струму ТШ-0,66-2 [22]. Параметри цих пристроїв підтверджено перевіркою за методикою А.13, підсумки якої наведено у таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Вибір вимірювальної апаратури

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном ITC}=2000 А$ $U_{ном ITC}=0,72 кВ$ $i_{ном дин}=51 кА$ $B_m = I_m^2 t_m = 100 кА^2 \cdot с$ $s_{2ном} = 5 ВА$	$I_{p max} = 1533 А$ $U_{ном} = 0,4 кВ$ $i_{y max} = 25,36 кА$ $B_K = I_{K max}^2 t_n = 13,84^2 \cdot 0,25 = 47,9 кА^2 \cdot с$ $s_{2p} = 0,286 ВА$

Розрахунок номінального навантаження трансформатора струму подано в таблиці 2.19.

					ЛНТУ.971058.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Таблиця 2.19 – Вибір лічильника електроенергії

Назва приладу	Тип приладу	Навантаження, ВА
Електронний лічильник	Iskra MT174-T1	5
Всього	—	5

У лінійних комірках 0,4 кВ для контролю рівня струму встановлюються амперметри типу ЦА0204 [23] (Мегомметр), вибираємо трансформатори струму типу Т-0,66. Результати перевірки зведемо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Вибір трансформатора струму

Каталожні дані	Розрахункові дані
$I_{ном1TC}=500 \text{ А}$ $U_{номTC}=0,72 \text{ кВ}$ $i_{ном \text{ дин}}= 51 \text{ кА}$ $B_m = I_m^2 t_m = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2ном}=5 \text{ ВА}$	$I_{p \text{ max}}= 400,33 \text{ А}$ $U_{ном}=0,4 \text{ кВ}$ $i_{y \text{ max}}=8,55 \text{ кА}$ $B_k = I_{k \text{ max}}^2 t_n = 6,06^2 \cdot 0,25 = 9,18 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ $s_{2p}=0,6 \text{ ВА}$

Отже, приймаємо до встановлення вибрані трансформатори струму.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК СЕП КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ

Розрахунок СЕП компресорної установки, яка встановлена в картоноробному цеху будемо за методикою, яка наведена в додатку Б.

Результати розрахунків зведено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку вибору двигуна

Параметр	Позначення та одиниці вимірювання	Значення
Вхідний тиск	$p_{вх}$, МПа	0,08
Вихідний тиск	$p_{вих}$, МПа	4,2
Початковий об'єм газу	V_1^{-3} , м ³	3
Робота, виконувана при ізотермічному процесі	A_i , Дж	0,95
Відношення теплоємності при постійному тиску і постійному об'ємі	k	1,4
Робота, виконувана при адіабатному процесі	A_a , Дж	1,806
Середня робота стискування	A , Дж	1,378
Коефіцієнт запасу	k_z	1,15
Продуктивність	Q , м ³ /год	10
Розрахункова потужність двигуна	P , кВт	24,7
Компресор	-	SCR A40 APM [24]
Потужність двигуна	$P_{дв}$, кВт	30
Частота обертання двигуна	$n_{дв}$, хв ⁻¹	970
Момент інерції ротора двигуна	$I_{дв}$, кг·м ²	0,07

Розрахуємо мережу живлення компресора за методикою додатка Б.
Результати розрахунку зведемо в таблицю 3.2.

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Ярмольський А.І.				Електропостачання заводу з виробництва пресшпану встановленою потужністю 2500 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець Т.М.					Д	33	3
						ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.							
Затвердив	Волинець В.І.							

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку мережі компресора

Параметр	Позначення та одиниці вимірювання	Значення
Розрахунковий струм	$I_{\text{дв}}, \text{А}$	61,93
Тип та переріз кабелю	-	ВВГнгд-1-5x10
Тривалий допустимий струм	$I_{\text{тр.доп}}, \text{А}$	73
Активна складова втрат напруги в трансформаторі	$\Delta U_{\text{а}}, \%$	1,03
Реактивна складова втрат напруги в трансформаторі	$\Delta U_{\text{р}}, \%$	4,1
Втрати напруги в трансформаторі	$\Delta U_{\text{т}}, \%$	3,96
Втрати напруги в лінії Л1	$\Delta U_{\text{л1}}, \%$	3,16
Втрати напруги в лінії Л2	$\Delta U_{\text{л2}}, \%$	0,7
Втрати напруги в мережі	$\Delta U, \%$	3,86
Активний опір трансформатора	$R_{\text{т}}, \text{МОм}$	1,09
Реактивний опір трансформатора	$X_{\text{т}}, \text{МОм}$	0,006
Активний опір лінії Л1	$R_{\text{л1}}, \text{Ом}$	0,01
Реактивний опір лінії Л1	$X_{\text{л1}}, \text{Ом}$	0,006
Активний опір лінії Л2	$R_{\text{л2}}, \text{Ом}$	0,021
Реактивний опір лінії Л2	$X_{\text{л2}}, \text{Ом}$	0,001
Повний опір до точки КЗ	$Z, \text{Ом}$	0,1
Напруга холостого ходу вторинної обмотки трансформатора	$U_{02}, \text{В}$	397
Струм КЗ	$I_{\text{к}}^{(3)}, \text{кА}$	4,7

Встановимо автоматичні вимикачі типу ВА88 та виконаємо перевірку на чутливість спрацювання захисту.

$$I_{\text{п}} = 5 \cdot 73 = 365 \text{ А.}$$

Приймаємо автоматичний вимикач ВА88-37 з такими параметрами:
 $I_{розч.ном} = 400 \text{ А}$; $I_{ном.вимк} = 35 \text{ кА}$; $I_{с.в} = 4000 \text{ А}$.

$$I_{розч.ном} = 400 \text{ А} > k_{від}^{III} \cdot I_p = 1,1 \cdot 73 = 80,3 \text{ А}.$$

$$I_{ном.вимк} = 35 \text{ кА} > I_{k \max}^{(3)} = 4,3 \text{ кА},$$

$$I_{с.в} = 4000 > k_{від}^I \cdot I_n = 1,5 \cdot 365 = 547,5 \text{ А}.$$

Умови перевірки виконуються.

Перевіримо на чутливість захист:

$$I_{розч.ном} = 400 \text{ А} < \frac{I_{k.min}^{(1)}}{3} = \frac{4,3}{3} = 1,43 \text{ кА}.$$

Чутливість забезпечується.

Перевіримо на селективність:

$$I_{с.в1} = 4000 \text{ А} > (1,3 \dots 1,5) \cdot I_{с.в2} = 1,5 \cdot 1,13 \cdot 73 = 107,2 \text{ А}.$$

Селективність захисту забезпечується.

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

РОЗДІЛ 4

САПР

У математичному середовищі *PTC Mathcad* було розраховано ЦЕН підприємства. На рисунках 4.1-4.3 зображено саму програму розрахунку центрів активного та реактивного навантажень.

Розрахунок картограми електричних навантажень підприємства з виробництва пресшпану

Приймаємо кількість цехів підприємства: $n := 8$

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

$$X := \begin{pmatrix} 101 \\ 217 \\ 31 \\ 77 \\ 23 \\ 151 \\ 217 \\ 128 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 103 \\ 94 \\ 98 \\ 22 \\ 23 \\ 79 \\ 14 \\ 6 \end{pmatrix}$$

Формуємо матриці активної та реактивної потужності цехів підприємства:

$$P := (318.82 \quad 447.22 \quad 117.99 \quad 220.4 \quad 246.53 \quad 36.22 \quad 294.69 \quad 5.84)$$

$$Q := (348.06 \quad 327.08 \quad 75.1 \quad 173.2 \quad 193.87 \quad 18.11 \quad 228.52 \quad 3)$$

Рисунок 4.1 – Розрахунок ЦЕН підприємства

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Ярмольський А.І.			Електропостачання заводу з виробництва пресшпану встановленою потужністю 2500 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Денисовець Т.М.				Д	36	2
Н. контр.		Ващелюк Ю.І.				ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Затвердив		Волинець В.І.						

Mathcad - [визначення ЦЕН]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U

Мой веб-узел Go

Здійснюємо визначення сумарної активної та реактивної потужності всього підприємства:

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

$$\text{sumP}(n) = 1.688 \times 10^3 \quad \text{sumQ}(n) = 1.367 \times 10^3$$

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

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

$$\text{dobPX}(n) = 2.257 \times 10^5 \quad \text{dobPY}(n) = 1.04 \times 10^5$$

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

$$\text{dobQX}(n) = 1.79 \times 10^5 \quad \text{dobQY}(n) = 8.687 \times 10^4$$

Рисунок 4.2 - Розрахунок ЦЕН підприємства

Mathcad - [визначення ЦЕН]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U

Мой веб-узел Go

Визначаємо координати центрів активного та реактивного навантажень:

$$X_{ца} := \frac{\text{dobPX}(n)}{\text{sumP}(n)} \quad X_{ца} = 133.73 \text{ м}$$

$$Y_{ца} := \frac{\text{dobPY}(n)}{\text{sumP}(n)} \quad Y_{ца} = 61.61 \text{ м}$$

$$X_{цр} := \frac{\text{dobQX}(n)}{\text{sumQ}(n)} \quad X_{цр} = 130.92 \text{ м}$$

$$Y_{цр} := \frac{\text{dobQY}(n)}{\text{sumQ}(n)} \quad Y_{цр} = 63.553 \text{ м}$$

Рисунок 4.3 - Розрахунок ЦЕН підприємства

РОЗДІЛ 5

ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА

Розрахунок захисного заземлення електрообладнання картоноробного цеху

Розрахунок захисного заземлення обладнання картоноробного цеху проведемо відповідно до додатку В.

Таблиця 5.1 – Вхідні параметри та результати розрахунку захисного заземлення

<u>Вхідні параметри</u>	
1	2
Спосіб розташування вертикальних заземлювачів	в ряд
Розміри цеху, м	42х96
Матеріал та форма заземлювачів	сталь, труба
Розмір заземлювачів: - довжина, м - зовнішній діаметр, м	3 0,07
Ширина шини, м	0,07
Вид ґрунту	суглинок
Глибина залягання заземлюючого пристрою, м	0,7
<u>Результати розрахунку</u>	
Питомий опір ґрунту, Ом·м [25, т.5.1]	80
Кліматичний коефіцієнт φ_2 [25, т.5.2]	1,5
Розрахунковий питомий опір ρ_p , Ом·м	120
Відстань від поверхні землі до середини заземлювача t , м	2,2
Опір розтіканню струму однієї вертикальної труби R_{od} , Ом	30,61
Орієнтовна відстань між трубами a , м	45
Кількість заземлювачів n' , шт.	6

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Ярмольський А.І.				Електропостачання заводу з виробництва пресшпану встановленою потужністю 2500 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Денисовець Т.М.					Д	38	2
Н. контр.	Ващелюк Ю.І.					ФАБЕ, гр. ЕЕ-42		
Затвердив	Волинець В.І.							

Продовження таблиці 5.1

1	2
Коефіцієнт використання стержньових заземлювачів η [25, т.5.3]	0,9
Необхідна кількість заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання n , шт.	6
Коефіцієнт використання для шин $\eta_{ш}$ [25, т.5.4]	0,82
Опір розтіканню струму з'єднувальної шини $R_{ш}$, Ом	45,88
Опір заземлюючого пристрою без врахування опору шини $R_{ст}$, Ом	6,17
Загальний опір заземлюючого пристрою R , Ом	5,44

Отриманий загальний опір заземлювального пристрою становить 5,44 Ом, що відповідає нормативним вимогам (не більше 10 Ом). Проектована система контуру заземлення, що складається з 6 заземлювачів, розміщених у ряд, прийнята до впровадження.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Під час виконання кваліфікаційного проєкту було обґрунтовано застосування радіально-магістральної схеми для забезпечення надійності електропостачання. Силові трансформатори підстанцій були перевірені на роботу в післяаварійному режимі з урахуванням розвантаження мережі. Для зовнішнього живлення було обрано кабель АПвЕгаПу-10, а для компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ - ККУ загальною потужністю 560 кВАр. В індивідуальній частині розраховано СЕП компресора SCR A40 АРМ. За допомогою середовища Mathcad вдалося точно визначити координати центрів навантажень підприємства. Завершальним етапом став розрахунок захисного заземлення картоноробного цеху: отримане значення 5,44 Ом підтверджує ефективність запроєктованого контуру з 6-ти електродів та його відповідність вимогам ПУЕ.

					<i>ЛНТУ.971058.000 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://led-story.ua/ru/linejnyj-podvesnoj-svetilnik-dso-premium-120w-4000k-3600mm-belyj-profi/?utm_source=Google&utm_medium=Merchant&utm_campaign=%D0%9A2_GoogleShopping_Free
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://slavgorenergo.com.ua/ua/p1397782839-avtomaticheskie-kondensatornye-ustanovki.html>
9. Калужний Д.М. Конспект лекцій з курсу «Електропостачання та електрозбереження» (для студентів 4 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 – Електротехніка та електротехнології та слухачів другої вищої освіти зі спеціальності 141 – Електроенергетика,

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

10. Кабелі силові 10 кВ. 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/cat/18/mri/180114/un/1/lang/ru>

12. Пункт розподільний 0,4 кВ. URL: <https://slavgorenergo.com.ua/ua/g96712232-punkty-raspredelitelnye-serii>

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-393М. URL: <https://slavgorenergo.com.ua/ua/p1030221449-kso-393m-kamery.html>

17. Роз'єднувач РВЗ-10. URL: <https://slavgorenergo.com.ua/ua/p1759566150-razediniteli-rvz-10400.html>

18. Вимикач навантаження ВНА-10. URL:

<https://slavgorenergo.com.ua/ua/p1561962283-vyklyuchatel-nagruzki-vna.html>

19. Розподільні комірки ЩО-90. URL:

<https://slavgorenergo.com.ua/ua/g75069002-paneli-scho-scho>

20. Автоматичні вимикачі ВА88. URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/av/iek>

21. Лічильник електроенергії Iskra. URL: <https://schetchiki.com.ua/schetchiki-elektroenergii/iskra-mt174-t1-detail>

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Трансформатори струму ТШ-0,66-2, Т-0,66. URL:

<https://www.megommetr.com/index.php/transformatory-toka>

23. Амперметр електронний трифазний ЦА0204. URL:

https://www.megommetr.com/index.php/ua/ampermetry/product/99-ampermetr-tsa0204/category_pathway-41

24. Компресор. URL: <https://prom.ua/ua/p1171168048-kompresor-scr-arm.html>

25. Сивко В.Й. Розрахунки з охорони праці: навчальний посібник. Житомир⁴⁵
ЖІТІ, 2001. 152 с.

					<i>ЛНТУ.971058.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		