Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Плєшков П.Г.
“___“ _____2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

Модернізація системи електропостачання ливарного цеху з підвищенням енергоефективності та надійності електроспоживання

Modernization of the power supply system of the foundry with increased energy efficiency and reliability of power consumption

Виконав студент 4 курсу групи ЕЕ-22
спеціальності 141«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Михайло САНДУЛ
«____»_____2026 р.

Керівник проекту
доц, канд.техн.наук
_____ Іван САВЕЛЕНКО
«_____»_____2026 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет *будівництва, транспорту та енергетики*

Кафедра *електротехнічних систем та енергетичного менеджменту*

Освітній ступінь *бакалавр*

Спеціальність 141«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри
_____ *Плєшков П.Г.*
«_____»_____2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Сандула Михайла Олексійовича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) *Модернізація системи електропостачання ливарного цеху з підвищенням енергоефективності та надійності електроспоживання*
Modernization of the power supply system of the foundry with increased energy efficiency and reliability of power consumption

2. Керівник роботи (проекту) *Савеленко Іван Володимирович, к.т.н., доц.*
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту *3.06.2026 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) *Розробити систему електропостачання комбінату твердих сплавів, згідно завдання: Виконати розрахунок електричних навантажень. цеху. Побудувати графіки електричних навантажень. Виконати вибір варіантів схем електропостачання. Виконати розрахунки режимів реактивної потужності, вибору трансформаторів та струмів КЗ. Вибрати технологічне обладнання в для цеху. Розробити спеціальний розділ.*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальний розділ	*доцент Гарасьова Н.Ю*		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Розрахунок електричних навантажень*	*8.05.26*	
2	*Побудова графіків електр. навантажень*	*10.05.26*	
3	*Вибір напруги і електричних схем електропостачання*	*16.05.26*	
4	*Режими реактивної потужності*	*18.05.26*	
5	*Розрахунок струмів КЗ*	*18.05.26*	
6	*Вибір низьковольтного обладнання*	*20.05.26*	
7	*Спеціальний розділ*	*24.04.26*	
8	*Оформлення пояснювальної записки*	*30.05.26*	
9	*Виконання графічної частини*	*2.06.26*	

Дата видачі завдання
Підпис керівника _____ «____» _____2026 р.

Завдання прийнято до виконання
Підпис студента _____ «____» _____2026 р.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 83 с.; 13 рис.; 26 табл.; 8 джерел

Сандул М. Модернізація системи електропостачання ливарного цеху з енергоефективності та надійності електроспоживання.– Рукопис.

Modernisation of the power supply system in the foundry to improve energy efficiency and the reliability of electricity consumption

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2026 р.

В кваліфікаційній роботі розроблено систему електропостачання ливарного цеху з модернізацією цехової мережі та розробки заходів з підвищення енергоефективності та надійності електроспоживання і виконаний згідно завдання.

В роботі представлений огляд існуючих рішень, вибрано обладнання та принцип його роботи, розроблена система електропостачання та вибране необхідне обладнання.

В спеціальному розділі розглянуто питання модернізації системи електропостачання ливарного цеху з метою підвищенням його енергоефективності та надійності.

електропостачання, модернізація, енергоефективність, цехові промислові мережі.

ABSTRACT

Qualification work: 83 p.; 13 Fig.; 26 tables; 8 sources

Sandul M. Modernisation of the power supply system in the foundry to improve energy efficiency and the reliability of electricity consumption – Manuscript.

Модернізація системи електропостачання ливарного цеху з підвищенням енергоефективності та надійності електроспоживання

Bachelor's Thesis in the specialty 141 - "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Central Ukrainian National Technical University. - Kropyvnytskyi, 2026.

In the qualification work, a power supply system for the foundry shop was developed with the modernization of the shop network and the development of measures to increase energy efficiency and reliability of electricity consumption and was completed according to the task.

The work includes an overview of existing solutions, selection of equipment and description of its operation principles, development of the power supply system, and selection of the necessary equipment.

A special section examines the modernisation of the foundry’s power supply system with a view to improving its energy efficiency and reliability.

power supply, modernization, energy efficiency, shop industrial networks

ЗМІСТ

ВСТУП..... 7
1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ 9
1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В 9
1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень 14
1.3 Розрахунок електричних в силових мережах вище 1000 В..... 19
2. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ..... 22
3. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 27
3.1 Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання..... 27
4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 36
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв 36
4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв41
5. РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ. 43
5.1. Розрахунок силової мережі цеху 43
5.2 Вибір перерізів силової мережі 0,4 кВ 54
5.3 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ..... 58
5.4 Вибір автоматів в мережі 0,4 кВ. 64
5.5. Розрахунок електричних мереж освітлювальних установок 69
6. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ..... 71
6.1. Техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання цеху..... 71
6.2. Розрахунок та вибір магістральних шинопроводів..... 72
6.3. Розрахунок та вибір розподільчих шинопроводів (ШРА)..... 74
6.4 Оцінка зниження втрат активної потужності та електроенергії..... 75
6.5. Оцінка показників економічної ефективності 78
Висновок..... 81
Література 83

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА		
Змн.	*Арк.*	*№ докум.*	*Підпис*	*Дата*			
Розробив		*Сандул М.О.*			Модернізація системи електропостачання ливарного цеху з підвищенням енергоефективності та надійності електроспоживання	*Літера*	*Аркуш* 6 / *Аркушів* 83
Перевірив		*Савеленко І.В.*					
Н. Контр.						*ЕЕ-22, ЦНТУ*	
Затв.		*Плєшков П Г*					

ВСТУП

Ливарне виробництво є одним із найбільш енергоємних технологічних процесів у сучасній промисловості. Значна частина діючих підприємств експлуатує морально та фізично застаріле електротехнічне обладнання, що призводить до необґрунтовано високих втрат електроенергії та зниження загальної рентабельності. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв, проведення комплексних енергетичних аудитів та подальша глибока модернізація систем електропостачання є стратегічним пріоритетом.

Крім того, специфіка електроспоживачів ливарних цехів (дугові та індукційні печі, потужні кранові установки, системи охолодження) вимагає безперебійності живлення. Навіть короткочасні перерви в електропостачанні або просадки напруги можуть призвести до порушення технологічного циклу, застигання металу, пошкодження дороговартісного обладнання та значних фінансових збитків. Тому розробка комплексних рішень, які одночасно підвищують енергоефективність та забезпечують високий рівень надійності електроспоживання, є надзвичайно актуальною науково-практичною задачею сучасної електроенергетики.

Метою роботи є розробка комплексу рішень щодо модернізації системи електропостачання ливарного цеху, спрямованих на зниження питомих витрат електроенергії, оптимізацію режимів роботи силового обладнання та забезпечення нормативного рівня надійності електроспоживання.

Для цього необхідно виконати в роботі наступні завдання:

Провести аналіз існуючої схеми електропостачання ливарного цеху та виконати оцінку її енергетичної ефективності.

Розрахувати електричні навантаження та проаналізувати графіки електроспоживання з урахуванням сучасних технологічних процесів плавки металу.

Обґрунтувати вибір сучасного енергоефективного силового обладнання (розподільних трансформаторів зі зниженими втратами, комутаційної апаратури, пристроїв плавного пуску та частотно-регульованих приводів).

Розробити заходи щодо підвищення надійності електропостачання за рахунок модернізації цехових мереж для зниження втрат у лініях та покращення якості електричної енергії.

Оцінити техніко-економічну ефективність та терміни окупності запропонованих заходів.

Об’єктом дослідження є система електропостачання та режими електроспоживання ливарного цеху промислового підприємства.

Предмет дослідження виступають методи, апаратні рішення та алгоритми підвищення енергоефективності й надійності функціонування систем промислового електропостачання.

Запропоновані в роботі інженерні рішення та методики розрахунку можуть бути безпосередньо використані проектними організаціями та енергетичними службами підприємств при реконструкції діючих або проектуванні нових систем електропостачання промислових об'єктів. Впровадження результатів дозволить суттєво оптимізувати витрати на енергоресурси, знизити аварійність мереж та підвищити загальну експлуатаційну безпеку виробництва.

1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Визначення розрахункових електричних навантажень електроприймачів виконується у відповідності з методом “Упорядкованих діаграм Каялова”.

1.1 Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В

Розрахункове активне навантаження ливарного цеху визначається:

$$P_P = P_{CM} \cdot K_M = 1426{,}5 * 1{,}13 = 1235{,}3 \text{ кВт},$$

де P_{CM} – середнє активне навантаження ливарного цеху за найбільш завантажену зміну; K_M – коефіцієнт максимуму навантаження для споживачів ливарного цеху (Км = 1,13).

Груповий коефіцієнт використання визначається за виразом:

$$K_И = \frac{\sum_1^n P_{CM}}{\sum_1^n P_H} = \frac{\sum_1^5 76{,}8 + 9{,}8 + 4{,}9}{192 + 28 + 7} = 0{,}52$$

де P_{CM}, P_H – відповідно середнє навантаження та усталена потужності однотипних груп споживачів ливарного цеху;

Ефективне число ЕП для ливарного цеху $n_Э$ визначається:

$$m = \frac{P_{H\max}}{P_{H\min}} = \frac{96}{1{,}5} = 64,$$

де $P_{H\max}, P_{H\min}$ - найбільш і найменш потужні споживачі в цеху

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{H\max}} = \frac{2 \cdot 2738}{96} = 57$$

Розрахункове реактивне навантаження ливарного цеху визначається за виразом:

$$Q_P = 1{,}0 \cdot Q_{CM} = 1{,}0 \cdot 1235{,}3 = 1235{,}3 \text{ кВАр}$$

де Q_{CM} – середнє реактивне навантаження ливарного цеху;

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot tg\phi = 1426{,}5 \cdot 0{,}9 = 1610{,}3 \text{ кВАр}$$

Розрахунковий максимум навантаження:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} = \sqrt{1610{,}3^2 + 1235{,}3^2} = 2029{,}6 \text{ кВА}$$

Розрахунок силових електричних навантажень в електричних мережах до 1000 В виконуємо у вигляді таблиці 1.1 з застосуванням офісного додатку Microsoft Excel.

Таблиця 1.1. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кіл.	Встановлена потужність, кВт		m	$K_в$	cosφ	tg	Середнє навантаження за зміну		$n_{еф}$	$K_м$	Розрахункова потужність		
			Одного	Сума.					Pcp	Qcp			Pp	Qp	Sp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Ливарний цех														
	Відмітка 0-0 м														
	Маслонасосна РТП1														
	Тельфер	1	6,5 - 6,5	7		0,3	0,6	1,33	2,10	2,80					
	Маслонасоси	3	3,0 - 10	30		0,6	0,8	0,75	18,00	13,50					
	Разом	4	3,0 - 10	37	3	0,54	0,6	0,81	20,1	16,30	4	1,61	32,31	17,93	36,95
	Маслонасосна РТП2														
	Тельфер	1	5 - 5	5		0,3	0,6	1,33	1,50	2,00					
	Маслонасоси	3	9,0 - 11	31		0,6	0,8	0,75	18,60	13,95					
	Разом	4	5,0 - 11	36	2	0,56	0,6	0,8	20,1	16,0	4	1,58	31,8	17,5	36,3
	Ремонтне відділення														
	Зварювальні апарати	4	26,0 - 96	192		0,4	0,6	1,3	76,8	102,4					
	Машина для різки блоків	2	14,0 - 14	28		0,35	0,7	1,0	9,8	10,0					
	Піч сушильна	2	3,0 - 4	7		0,7	0,9	0,6	4,9	3,0					
	Разом	8	3,0 - 96	227	32	0,4	0,3	1,3	91,5	115,4	5	1,74	158,9	127,0	203,4

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Вентилятори обдуву	5	75,0 - 74	375		0,6	0,8	0,8	225,0	168,8					
	Разом по відмітці 0-0	21	3,0 - 96	675	32	0,53	0,6	0,9	356,7	316,4	14	1,28	457,3	316,4	556,1
	Відмітка 3,3 м														
	Компресори	2	40,0 - 45	87		0,6	0,8	0,8	52,2	39,2					
	Аератори	2	7,5 - 8	15		0,7	0,8	0,8	10,5	7,9					
	Тельфери	6	4,0 - 5	28		0,35	0,8	0,8	9,8	7,4					
	Шпурова машина	2	20,0 - 20	40		0,3	0,8	0,8	12,0	9,6					
	Засувки електричні	4	4,5 - 5	18		0,4	0,8	0,8	7,2	5,8					
	Разом відмітці 3,3	16	4,0 - 45	188	11	0,49	0,6	0,8	91,7	69,8	8	1,44	132,1	76,8	152,7
	Відмітка 9 м														
	Тельфери	8	6,0 - 8	58		0,35	0,8	0,8	20,3	15,2					
	Лебідки	8	6,0 - 9	51		0,4	0,8	0,8	20,4	16,4					
	Кондиціонери	2	10,0 - 10	20		0,7	0,8	0,8	14,0	10,5					
	Станції керування	4	1,5 - 2	5		0,7	0,8	0,8	3,5	2,6					
	Компресори	4	35,0 - 45	150		0,7	0,8	0,8	105,0	78,8					
	Зварювальні випрямлячі	3	40,0 - 40	120		0,45	0,6	1,3	54,0	72,0					
	Разом по відмітці 9	29	1,5 - 45	404	30	0,54	0,6	0,9	217,2	195,5	18	1,24	268,8	195,5	332,4

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Відмітка 17														
	Вентилятори	12	18,0 - 55	390		0,6	0,8	0,8	234,0	175,5					
	Гідронасоси	4	12,0 - 12	48		0,5	0,8	0,8	24,0	18,0					
	Насоси	5	22,0 - 40	155		0,6	0,8	0,8	93,0	69,8					
	Електромашини	2	5,0 - 5	10		0,3	0,8	0,8	3,0	2,4					
	Обдув монтеля	4	22,0 - 22	88		0,6	0,8	0,8	52,8	42,4					
	Вагон-клобель	6	16,5 - 17	91		0,13	0,8	0,8	11,8	8,9					
	Штормп ворота	4	4,0 - 4	16		0,3	0,8	0,8	4,8	3,6					
	Кран-балка	2	12,5 - 13	24		0,3	0,6	1,3	7,2	9,6					
	Разом по відмітці 17	39	4,0 - 55	822	14	0,52	0,6	0,8	430,6	330,1	30	1,18	509,7	330,1	607,3
	Відмітка 24														
	Кран балка	2	12,5 - 13	25		0,4	0,7	1,2	10,0	11,7					
	Ліфти	3	11,8 - 22	23		0,5	0,7	1,0	11,5	11,7					
	Зварювальні апарати	6	16,0 - 16	96		0,35	0,6	1,3	33,6	44,8					
	Вентилятори	4	30,0 - 75	205		0,7	0,8	0,8	143,5	107,6					
	Разом по відмітці 24	15	11,8 - 75	349	6	0,57	0,6	0,9	198,6	175,8	9	1,33	264,1	193,4	327,4
	Разом по цеху	120	1,5 - 96	2738	64	0,52	0,6	0,9	1426,5	1235,3	57	1,13	1610,3	1235,3	2029,6

1.2Розрахунок освітлювальних навантажень

Задачею розрахунку освітлювальних навантажень є визначення числа та потужності джерела світла. Розрахунок освітлення виповнюється методом коефіцієнта використання. Він призначений для розрахунку рівномірного освітлювання горизонтальних поверхонь.

Світовий потік лампи в катодному світильнику, необхідний для утворення заданої мінімальної освітлювальності (норма освітлювальності − $E_н$)

$$Ф = \frac{E_н \cdot K_{зап} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta} \qquad (1.1)$$

де $K_{зап}$ − коефіцієнт запасу; F − площа освітлювальної поверхні, м^2;

$Z = E_{ср}/E_н$ − коефіцієнт мінімальної освітлюваності; N − число світильників; η − коефіцієнт використання світового потоку.

Приклад розрахунку освітлення для приміщення «Ремонтне відділення» (на основі методу коефіцієнта використання світлового потоку):

- Нормована освітленість, E_н = 200 лк
- Довжина приміщення, L_у = 54 м
- Ширина приміщення, B_у = 6 м
- Висота приміщення, H = 3,3 м
- Висота робочої поверхні, h_р = 0 м (рівень підлоги)
- Висота звісу світильника, h_с = 0,5 м
- Крива розподілу: Д (косинусна)
- Відношення L/h_a = 1,4

Визначення розрахункової висоти підвісу, h_a:

h_a = H - h_p - h_c = 3,3 - 0 - 0,5 = 2,8 м

Індекс приміщення розраховується за формулою:

$$i = S/h_a\ (L_y + B_y) = 54\ \ 6/2{,}8\ \ (54 + 6) = 324/(2{,}8\ \ 60) = 1{,}93$$

Вибір коефіцієнтів

Коефіцієнт запасу (K_з): Для промислових приміщень з нормальним середовищем при використанні LED світильників приймаємо K_з = 1,4. Коефіцієнт нерівномірності (Z): Для світильників з кривою типу «Д» приймаємо Z = 1,1. Коефіцієнт використання (eta_в): Приймаємо стандартні коефіцієнти відбиття (стеля 50%, стіни 30%, підлога 10%). Для кривої сили світла «Д» та індексу приміщення i = 1,93 за довідниками знаходимо η_в = 0,55 (або 55%).

Розрахунок потрібного сумарного світлового потоку Ф_заг:

$$Ф_заг = E_н\ \ S\ \ K_з\ \ Z\backslash η_в = 200\ \ 324\ \ 1{,}4\ \ 1{,}1/0{,}55 = 99792/0{,}55 =$$

$$=181440\ лм$$

Визначення кількості та розміщення світильників. Максимально допустима відстань між світильниками:

$$L_max = 1{,}4\ \ h_a = 1{,}4\ \ 2{,}8 = 3{,}92\ \ м.$$

Кількість рядів: Ширина приміщення 6 м. Доцільно розмістити 2 ряди. Відстань між рядами складе близько 3 м (що менше за 3,92 м), а від стін — по 1,5 м. Кількість світильників у ряду: Довжина 54 м. Потрібно, щоб крок був le 3,92 м. 54 / 3,92 = 13,7. Приймаємо 14 світильників у кожному ряду.

Загальна кількість світильників: N = 2 ряди 14 шт/ряд = 28 шт.

Вибір світильника. Потрібний світловий потік одного світильника:

$$η_світильника = Ф_заг \cdot N = 181440 \cdot 28 = 6480\ \ лм$$

Обираємо сучасний промисловий LED-світильник потужністю P = 60 Вт із номінальним світловим потоком Ф = 6600 лм (що забезпечить необхідну освітленість із невеликим запасом).

Розрахунок електричних навантажень

Встановлена потужність:

$$P_уст = 28 \text{ шт } 60 \text{ Вт} = 1680 \text{ Вт} = 1{,}68 \text{ кВт}.$$

Розрахункова потужність (P_р), для LED світильників з втратами в ПРА:

$$P_р = P_уст = 1{,}68 \text{ кВт}.$$

Повна потужність (S_р): При cosφ = 0,95 :

$$S_р = 1{,}68 / 0{,}95 = 1{,}77 \text{ кВА}.$$

Реактивна потужність:

$$Q_{_р} = \sqrt{1{,}77^2 - 1{,}68^2} = 0{,}55 \text{ квар}.$$

Таблиця 1.2. Марки світильників обрані для встановлення в цеху

Потужність / Потік	Об'єкти застосування	Конструкція світильника	Рекомендована марка та модель	Тип світлодіодного джерела (лампи)
36 Вт / 3600 лм	Відмітка 0-0 м	Інтегрований *(Варіант 1)*	Philips Ledinaire Waterproof WT060C (LED36/840 PSU L1200 IP65)	Вбудована LED-матриця (SMD-діоди)
60 Вт / 6400–6600 лм	Маслонасосна РТП1, Маслонасосна РТП2, Ремонтне відділення	Інтегрований лінійний	ЄВРОСВІТЛО ДСП-04 60W	Вбудований LED-модуль на алюмінієвій платі (SMD 2835)
80 Вт / 8500–9000 лм	Відмітки 3,3 м, 9 м, 17 м, 24 м	Інтегрований лінійний	Ватра ДСП59У-80	Інтегрована LED-матриця високої потужності

Результати розрахунку зведені до таблиць 1.3 -1.4.

Таблиця 1.3 Вибір типу і кількості встановлених ламп встановлених ламп

№	Найменування	$E_н$, м	H, м	$L_у$, м	$B_у$, м	Крива розподілу	L/h_a	h_c	h_p	h	L,м	0,3L	N_p
1	Маслонасосна РТП1	200	3,3	9	6	Д	1,4	0,5	0	2,8	3	0,9	4
2	Маслонасосна РТП2	200	3,3	9	6	Д	1,4	0,5	0	2,8	3	0,9	4
3	Ремонтне відділення	200	3,3	54	6	Д	1,4	0,5	0	2,8	3	0,9	19
4	Відмітка 0-0 м	200	3,3	54	96	Д	1,4	0,5	0,8	2	2	0,6	27
5	Відмітка 3,3 м	200	4,5	54	96	Д	1,4	0,5	0,8	3,2	4	1,2	14
6	Відмітка 9 м	200	4,5	54	96	Д	1,4	0,5	0,8	3,2	4	1,2	14
7	Відмітка 17	200	4,5	54	96	Д	1,4	0,5	0,8	3,2	4	1,2	14
8	Відмітка 24	200	4,5	54	96	Д	1,4	0,5	0,8	3,2	4	1,2	14

Таблиця 1.4. Визначення розрахункової потужності цеху

№	Найменування об'єкту	і	ηв	Фпотр, лм	Рлампи, Вт	Флампи, лм	Nрядів	nряд(шт.)	Lкрок≤Lmax, м	Руст, кВт	Рр, кВт	Qр, квар	Sр , кВА
1	Маслонасосна РТП1	1,28	0,48	34 650	60	6 600	2	3	3,0 < 3,92	0,36	0,36	0,12	0,38
2	Маслонасосна РТП2	1,28	0,48	34 650	60	6 600	2	3	3,0 < 3,92	0,36	0,36	0,12	0,38
4	Відмітка 0-0 м	17,28	0,7	2 280 960	36	3 600	35	20	2,7 < 2,80	25,2	25,2	8,28	26,53
5	Відмітка 3,3 м	10,8	0,68	2 348 047	80	8 800	22	13	4,15 < 4,48	22,88	22,88	7,52	24,08
6	Відмітка 9 м	10,8	0,68	2 348 047	80	8 800	22	13	4,15 < 4,48	22,88	22,88	7,52	24,08
7	Відмітка 17	10,8	0,68	2 348 047	80	8 800	22	13	4,15 < 4,48	22,88	22,88	7,52	24,08
8	Відмітка 24	10,8	0,68	2 348 047	80	8 800	22	13	4,15 < 4,48	22,88	22,88	7,52	24,08

1.3 Розрахунок електричних в силових мережах вище 1000 В

При розрахунку навантажень в мережі напругою вище 1000 В розрахунковими вузлами навантажень є шини 10 кВ, тому перед початком розрахунку необхідно перш за все визначити кількість ТП, потужність трансформаторів та точки їх розміщення. В таблиці 1.5. наведені технічні параметри обраного трансформатора.

Таблиці 1.5. Параметри цехового трансформатора

Марка	$S_{ном}$, *кВА*	$U_к$,%	$\Delta P_к$, *кВт*	$\Delta P_х$, *кВт*	$R_т$, *Ом*	$X_т$, *Ом*
ТМ-1000/10/0,4	1000	5,5	8,60	2,50	0,948	6,064

Активні втрати:

$$\Delta P_т = n \cdot \Delta P_{хх} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot K_з^2 = 2 \cdot 2,5 + \frac{1}{2} \cdot 8,6 \cdot 0,71^2 = 13,8 \text{ кВт};$$

Реактивні втрати:

$$\Delta Q = n \cdot \left(\frac{I_X}{100} \cdot S_H + \frac{U_K}{100} \cdot S_H \cdot K_З^2 \right) =$$
$$= 4 \cdot \left(\frac{1,8}{100} \cdot 1000 + \frac{5,5}{100} \cdot 1000 \cdot 0,71^2 \right) = 44,7 \text{ квар}$$

Приймаємо для живлення руднотермічних печей до встановлення трансформатор ЭОЦН-30000/35-У1.

Результати розрахунку навантаження зведені до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі вище 1000 В

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кіл. ЕС	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cos	tg	Середнє навантаження за зміну		ne	Км	Розрахункова потужність		
			Одного	Сумарна					Pcp	Qcp			Pp	Qp	Sp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Ливарний цех														
	ТП1,2														
	Відмітка 0-0 м														
	силова	21,0	3,0 - 96,0	675,0	32,0	0,5	0,6	0,9	356,7	316,4	14,0	1,3	457	316	556
	освітлювальна												22,9	7,5	
	Відмітка 3,3 м														
	силова	16,0	4,0 - 45,0	188,0	11,0	0,5	0,6	0,8	91,7	69,8	8,0	1,4	132,1	76,8	152,7
	освітлювальна												22,88	7,52	
	Відмітка 9 м														
	силова	29,0	1,5 - 45,0	404,0	30,0	0,5	0,6	0,9	217,2	195,5	18,0	1,2	268,8	195,5	332,4
	освітлювальна												22,88	7,52	
	Відмітка 17														
	силова	39,0	4,0 - 55,0	822,0	14,0	0,5	0,6	0,8	430,6	330,1	30,0	1,2	509,7	330,1	607,3
	освітлювальна												22,88	7,52	
	Відмітка 24														
	силова	15,0	11,8 - 75,0	349,0	6,0	0,6	0,6	0,9	198,6	175,8	9,0	1,3	264,1	193,4	327,4
	освітлювальна												22,88	7,52	
	Всього по ТП1,2														
	силова	120,0	1,5 - 96,0	2738,0	64	0,5	0,6	0,9	1426,5	1235,3	57,0	1,1	1610,3	1235,3	2029,6
	освітлювальна												140,3	46,1	
	Всього												1750,6	1281,4	2169,5

продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	БСК													-670	
	З урахуванням БСК												1751	1281	
	Втрати в трансформаторі S= 1000	4,0											19	80,1	
	Всього по цеховому обладнанню на стороні 10 кВ												1770	1361	2232,9
	Високовольтне навантаження													-1200	
	Газодувки	4,0	400 - 400	1600,0	1	0,7	0,8	0,8	1120,00	840,00			1120,0	840,0	1400,0
	Всього на стороні 10 кВ												2889,8	2201,5	3632,8
	Навантаження на стороні 35 кВ														
	Руднотермічна піч з 3хЭОЦН-30000/35-У1	2,0	48 - 48,0	96000,0	1	0,7	0,9	0,4	67200	28627			67200	28627	73043
	Всього на стороні 35 кВ												67200	28627	73043,5

2. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЦЕХУ

При проектуванні і експлуатації систем електропостачання промислових підприємств графіки навантажень всього підприємства дають можливість визначити їх споживання активної та реактивної енергії.

Розрахунок графіків електричних навантажень приведений в таблицях 2.1, 2.2, а графіки відповідно до таблиць 2.1,2.2 - на рисунках 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 та 2.5.

Таблиця 2.1. Активне навантаження по сезонам року

Години	Навантаження робочої доби				Навантаження вихідної доби			
	%	Зима ($P_{зр}$), кВт	%	Літо ($P_{лр}$), кВт	%	Зима ($P_{зв}$), кВт	%	Літо ($P_{лв}$), кВт
1	80	2311,8	80	1965,1	80	2311,8	68	1965,059
2	80	2311,8	85	2087,9	80	2311,8	68	1965,059
3	80	2311,8	85	2087,9	80	2311,8	68	1965,059
4	80	2311,8	85	2087,9	80	2311,8	68	1965,059
5	80	2311,8	85	2087,9	80	2311,8	68	1965,059
6	85	2456,3	90	2210,7	85	2456,3	72	2087,875
7	85	2456,3	90	2210,7	85	2456,3	72	2087,875
8	85	2456,3	90	2210,7	85	2456,3	72	2087,88
9	85	2456,3	90	2210,7	85	2456,3	72	2087,9
10	85	2456,3	90	2210,7	85	2456,3	72	2087,9
11	85	2456,3	90	2210,7	85	2456,3	72	2087,9
12	95	2745,3	97	2382,6	95	2745,3	80	2333,5
13	95	2745,3	97	2382,6	95	2745,3	80	2333,5
14	95	2745,3	97	2382,6	95	2745,3	80	2333,5
15	95	2745,3	97	2382,6	95	2745,3	80	2333,5
16	85	2456,3	92	2259,8	85	2456,3	72	2087,9
17	85	2456,3	92	2259,8	85	2456,3	72	2087,9
18	100	2889,8	100	2456,3	100	2889,8	85	2456,3
19	100	2889,8	100	2456,3	100	2889,8	85	2456,3
20	100	2889,8	100	2456,3	100	2889,8	85	2456,3
21	100	2889,8	100	2456,3	100	2889,8	85	2456,3

22	90	2600,8	92	2259,8	90	2600,8	76	2210,7
23	90	2600,8	92	2259,8	90	2600,8	76	2210,7
24	90	2600,8	92	2259,8	90	2600,8	76	2210,7
Σдобове		61552,6		54235,63		61552,58		52319,69

Таблиця 2.2. Реактивне навантаження по сезонам року

Години	Навантаження робочої доби				Навантаження вихідної доби			
	%	Зима ($Q_{зр}$), кВар	%	Літо ($Q_{лр}$), кВар	%	Зима ($Q_{зв}$), кВар	%	Літо ($Q_{лв}$), кВар
1	85	2190,5	85	1861,9	85	2190,5	72	1861,9
2	85	2190,5	85	1861,9	85	2190,5	72	1861,9
3	85	2190,5	85	1861,9	85	2190,5	72	1861,9
4	85	2190,5	85	1861,9	85	2190,5	72	1861,9
5	85	2190,5	85	1861,9	85	2190,5	72	1861,9
6	90	2319,3	90	1971,4	90	2319,3	76	1971,4
7	90	2319,3	90	1971,4	90	2319,3	76	1971,4
8	90	2319,3	90	1971,4	90	2319,3	76	1971,4
9	90	2319,3	90	1971,4	90	2319,3	76	1971,4
10	90	2319,3	90	1971,4	90	2319,3	76	1971,4
11	90	2319,3	90	1971,4	90	2319,3	76	1971,4
12	97	2499,7	97	2124,7	97	2499,7	82	2124,7
13	97	2499,7	97	2124,7	97	2499,7	82	2124,7
14	97	2499,7	97	2124,7	97	2499,7	82	2124,7
15	97	2499,7	97	2124,7	97	2499,7	82	2124,7
16	92	2370,8	92	2015,2	92	2370,8	78	2015,2
17	92	2370,8	92	2015,2	92	2370,8	78	2015,2
18	100	2577,0	100	2190,5	100	2577,0	85	2190,5
19	100	2577,0	100	2190,5	100	2577,0	85	2190,5
20	100	2577,0	100	2190,5	100	2577,0	85	2190,5
21	100	2577,0	100	2190,5	100	2577,0	85	2190,5
22	92	2370,8	92	2015,2	92	2370,8	78	2015,2
23	92	2370,8	92	2015,2	92	2370,8	78	2015,2
24	92	2370,8	92	2015,2	92	2370,8	78	2015,2
Σдобове		57029,01		48474,7		57029,01		48474,7

Річні витрати активної та реактивної енергії енергії:

$$Рзр\Sigma \cdot 143 + Рзв\Sigma \cdot 65 + Рлр\Sigma \cdot 105 + Рлв\Sigma \cdot 48 =$$

$$= 61553 \cdot 147 + 61553 \cdot 65 + 54236 \cdot 105 + 52320 \cdot 48 = 21255233 \text{ кВт*год}$$

$$Vр = Q_{зр\Sigma} \cdot 143 + Q_{зв\Sigma} \cdot 65 + Q_{лр\Sigma} \cdot 105 + Q_{лв\Sigma} \cdot 48 =$$

$$= 57029 \cdot 147 + 57029 \cdot 65 + 48475 \cdot 105 + 48475 \cdot 48 = 19506773 \text{ квар*год}$$

Час використання максимуму навантаження:

$$T_M = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{21255233^2 + 19506773^2}}{3872} = 7451$$

Час максимальних втрат:

$$\tau = (0{,}124 + \frac{T_м}{10^4})^2 8760 = (0{,}124 + 7451/10000)^2 8760 = 6617 \text{ год.}$$

Отримані результати використовуємо в подальших розрахунках роботи.

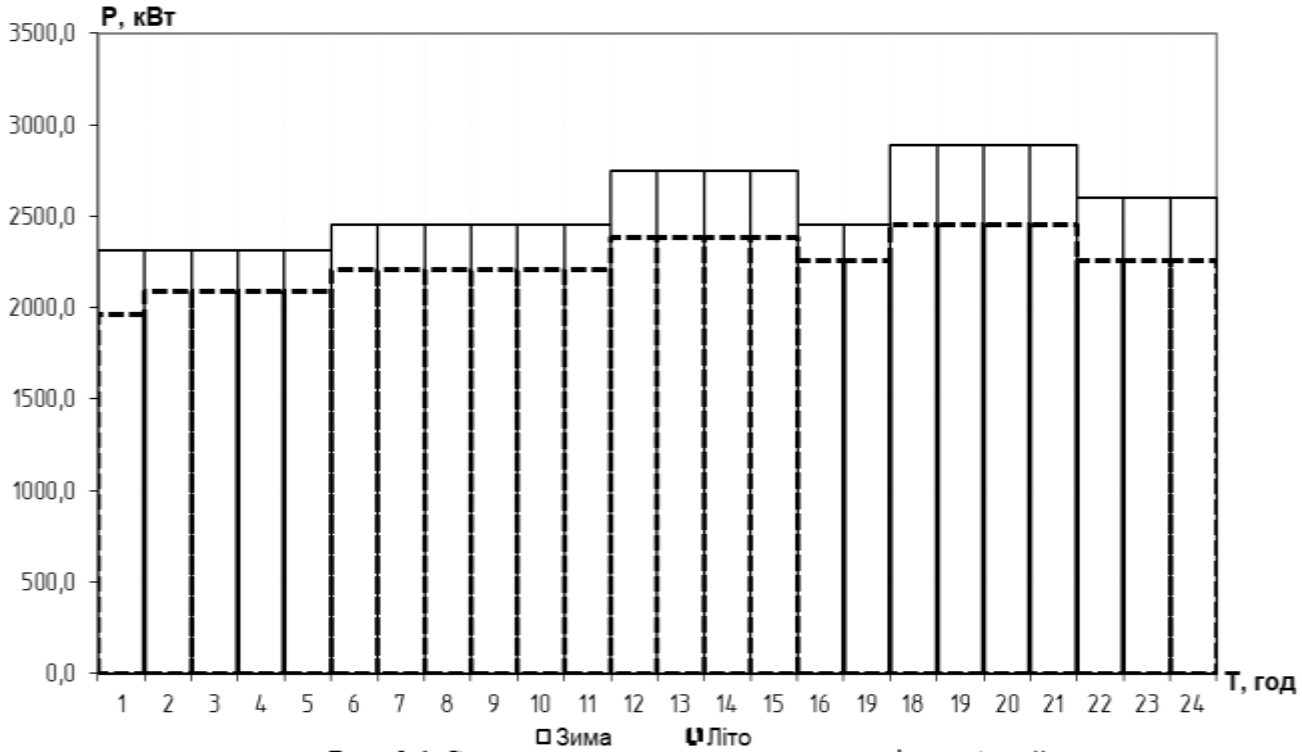

Рис. 2.1 Споживання активної потужності в робочий день

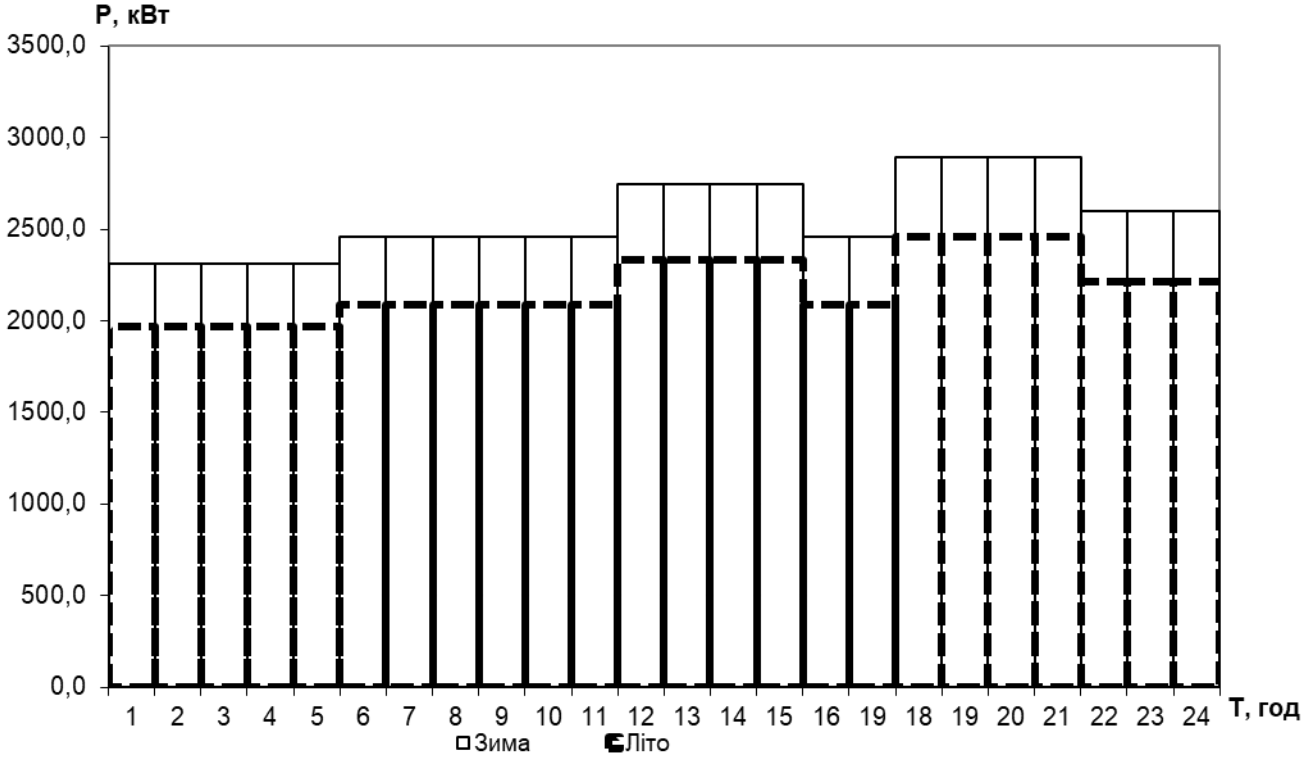

Рис. 2.2 Споживання активної потужності у вихідний день

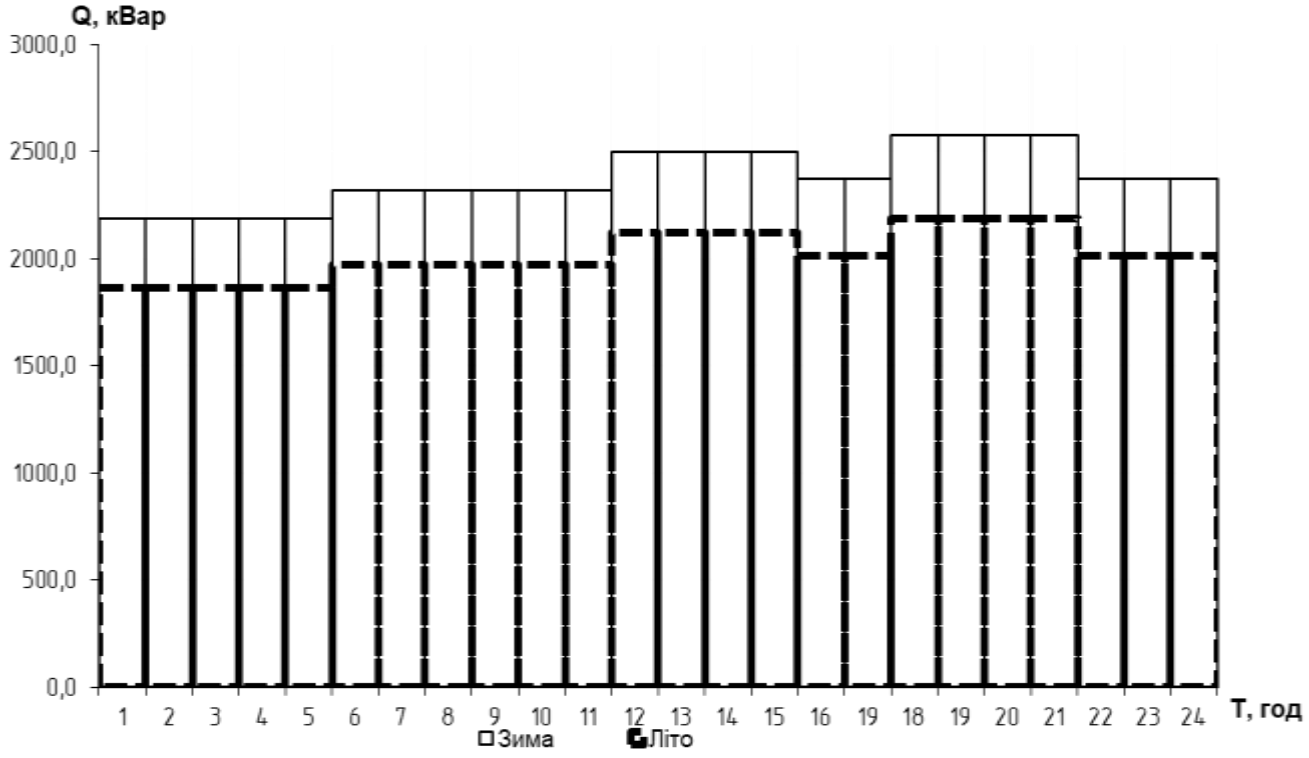

Рис. 2.3 Споживання реактивної потужності в робочий день

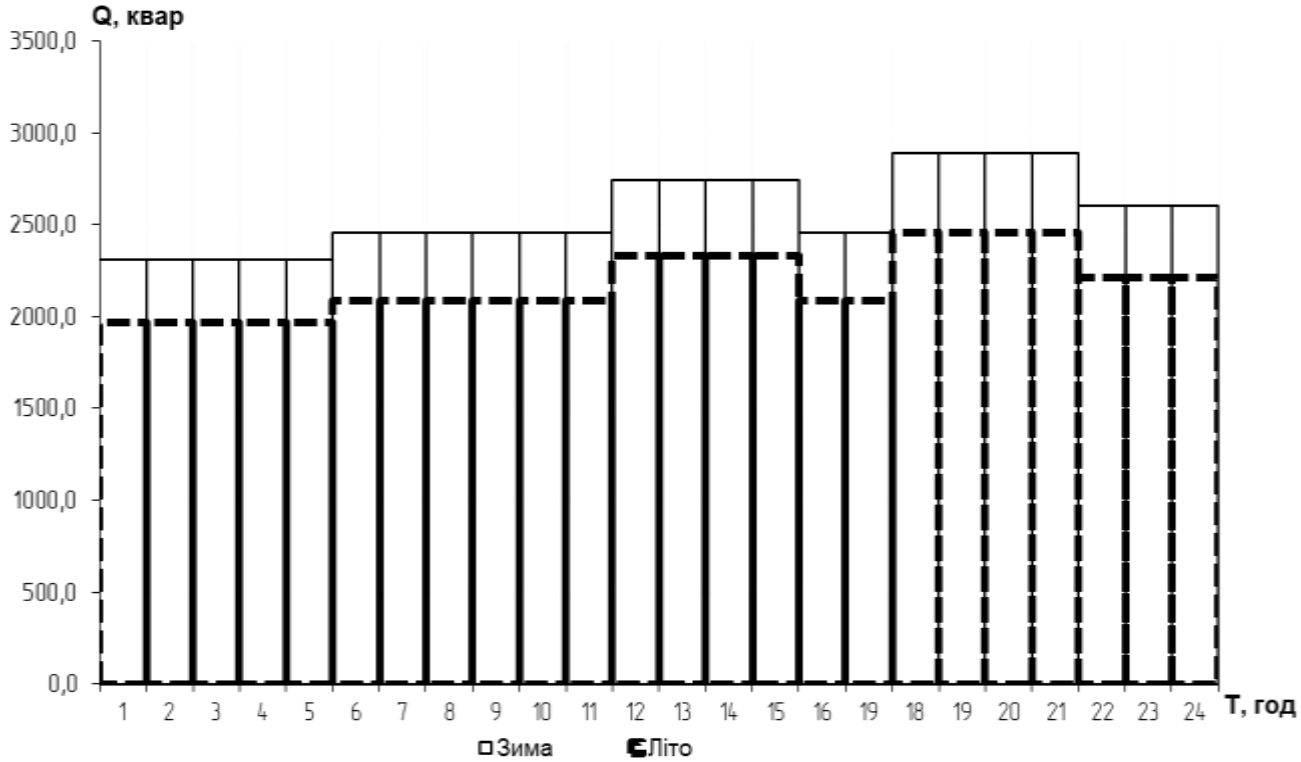

Рис. 2.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день

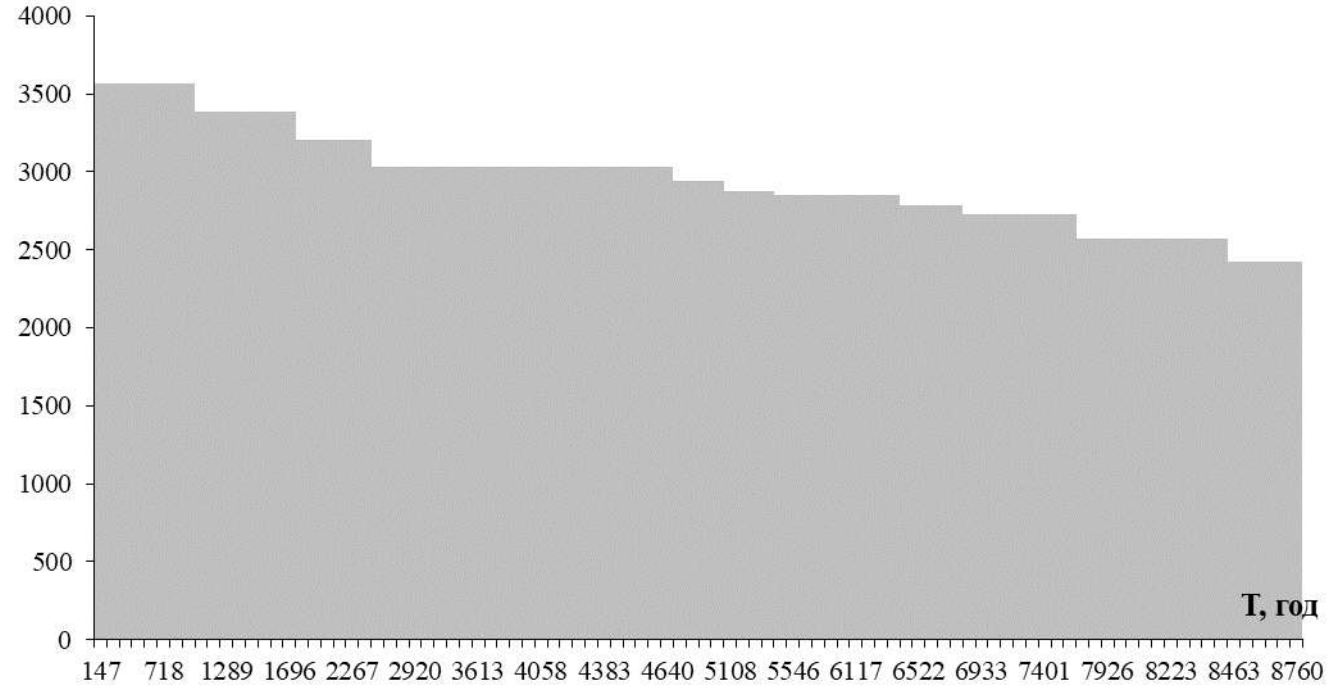

Рис. 2.5 Річний графік навантаження за тривалістю

3. ВИБІР НАПРУГИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вибір величини напруги живильних та розподільних мереж залежить від споживаної потужності, віддаленості від джерела живлення, напруги самого джерела, а також від кількості та одиничної потужності електроприймачів. Схеми зовнішнього електропостачання обирають із міркувань надійності та економічності. Надійність обраної схеми визначається залежно від категорії споживача.

Оптимальний варіант схеми електропостачання обирається на основі проведення порівняння приведених витрат по кожному варіанту. Критерієм вибору схеми електропостачання є мінімум зведених витрат.

Мінімум приведених витрат в енергетиці визначається:

$$З_в = С + Ен \cdot К + В + З \rightarrow \min \qquad (3.1)$$

де С – поточні витрати на передачу та розподіл електричної енергії, тис. грн./рік; Ен = 0,12 – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень; К – сумарні капіталовкладення в схему, грн.; В – вартість втрат електричної енергії, грн.; З – збитки від аварійної перерви в електропостачанні, в даній роботі не розглядаються.

3.1 Вибір напруги та схеми зовнішнього електропостачання

Живлення цеху здійснюється від ГПП заводу, який знаходиться на відстані приблизно 0,7 км. Живлення запропоновано виконати радіальними кабельними лініями напругою 10 кВ. В першому варіанті споживачі цеху отримують живлення безпосередньо від шин 10 кВ ГПП , в другому випадку планується встановлення РП, рисунки варіантів порівняння схем електропостачання приведені на рис 4.1 та 4.2 відповідно.

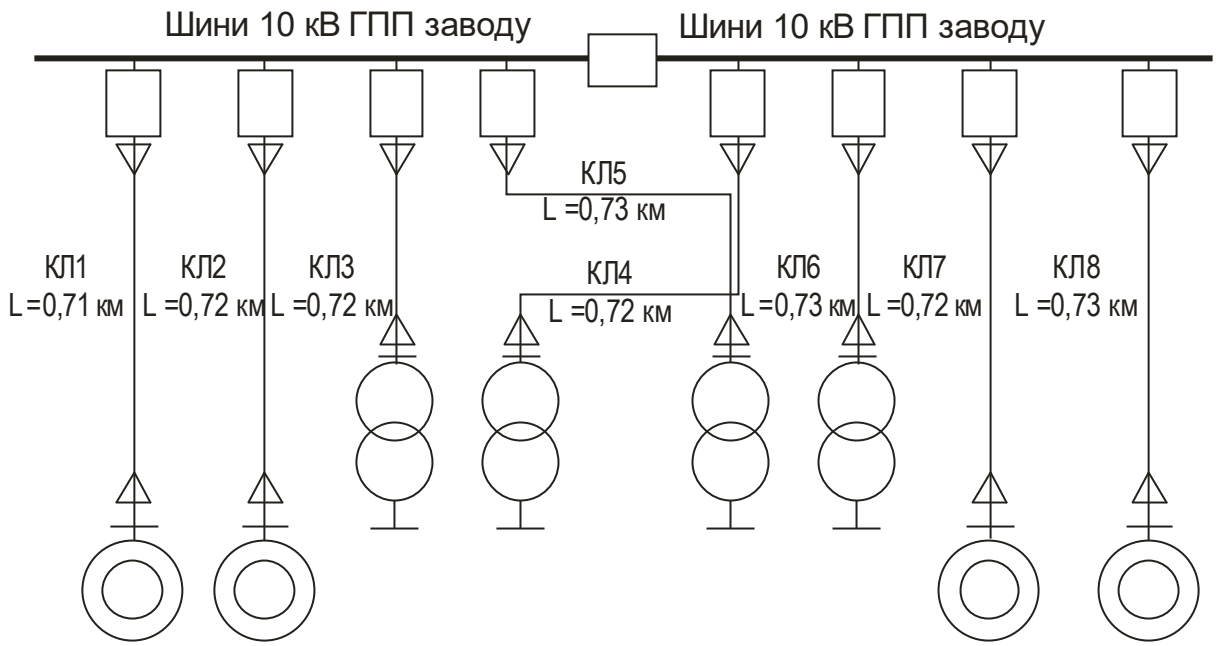

Рис. 3.1. Живлення цеху від ГЗП заводу

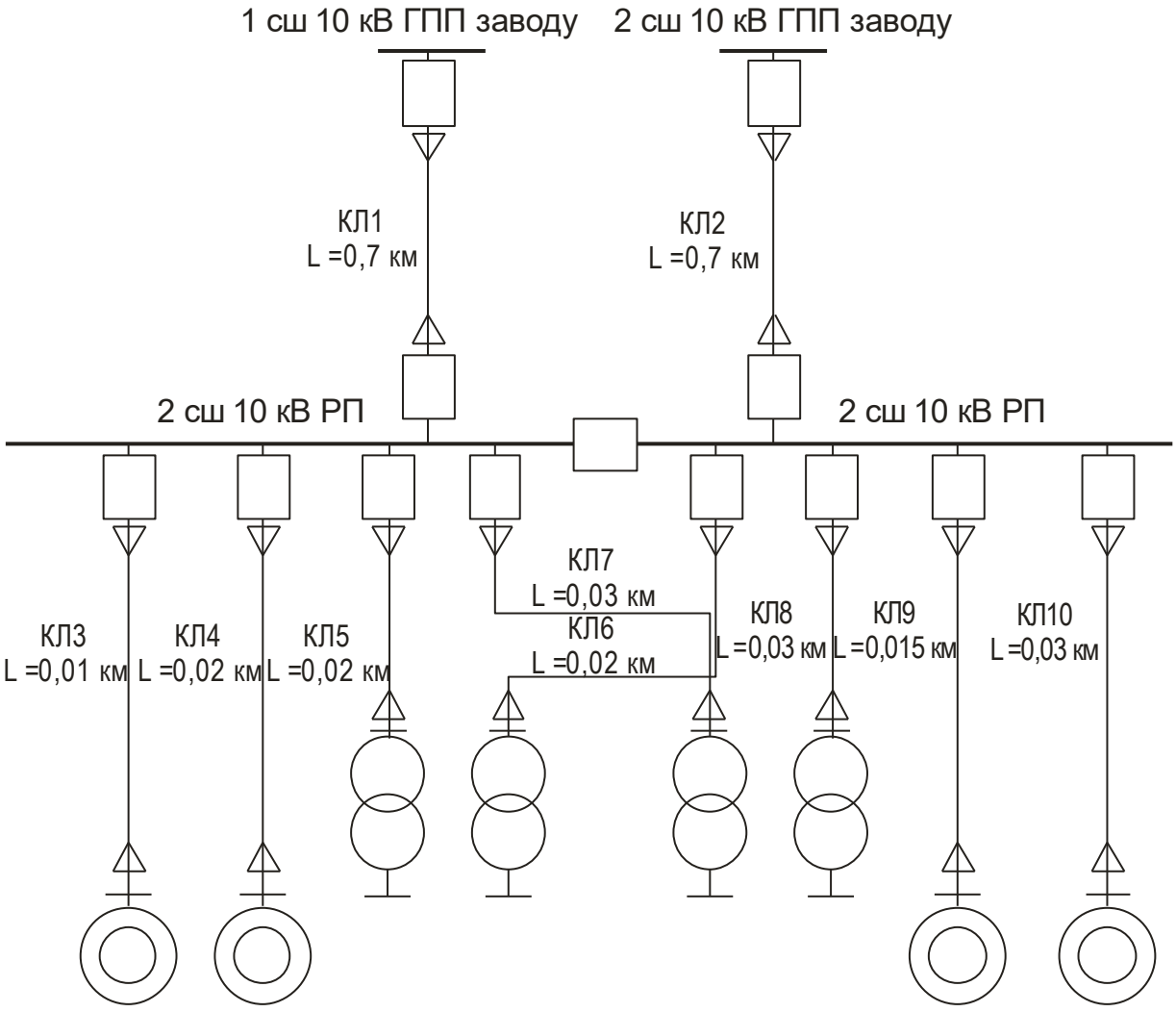

Рис. 3.2. Живлення цеху від шин КРП-10 кВ ГЗП

Наведемо приклад розрахунку для варіанту 2.

Живлення споживача здійснюється кабельною лінією (КЛ1) 10 кВ безпосередньо від шин 10 кВ центрального розподільчого пристрою ГЗП. $U_Н$ = 10 кВ; довжина кабельної лінії $l_{КЛ1}$ = 0,7 км.

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_н} = \frac{3632,8}{2 \cdot 1,73 \cdot 10} = 105 \text{ А};$$

Площа перерізу кабельної лінії:

$$F_{ек} = I_р / J_{ек} = 107,1 / 1,1 = 97 \text{ мм}^2$$

де $j_{ек}$ = 1,1 А/мм^2 – економічна щільність струму при Тм= 7451 год. Приймаємо стандартний переріз 120 мм^2 кабелю. Приймаємо кабель марки ААШв – 10 (3 х 120). Кількість в лінії n = 1, для даного кабелю допустимий тривалий струм $I_{доп}$ = 240 А, втрати потужності на 1 км $P_{1км}$ = 18 кВт/км, вартістю $К_0$ = 275 тис.грн/км.

Допустимий довготривалий струм навантаження з урахуванням кількості кабелів, що працюють в одній траншеї:

$$Iдоп` = Iдоп * К_п = 240 • 1,0 = 240 \text{ А};$$

де $К_п$ – поправочний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів в одній траншеї, для $n_{кл}$= 1 $К_п$ = 1.

Коефіцієнт попереднього завантаження кабелю:

$$Кз = Iр / (n •I`доп) = 107,1 /(1 • 240) = 0,44$$

При виході зі строю однієї лінії, інша забезпечить живлення навантаження

$$Іавар` = n * Ідоп` * Ка.п = 1 • 240 • 1,25 = 300 > Ір.ав = 214 А$$

Отже живлення забезпечуватиметься нормально.

Втрати потужності та енергії в лінії:

$$\Delta Э_1 = \Delta Рл \cdot \tau = 2,44 • 6617 = 16141 \text{ кВт·год}$$

$$\Delta P_л = \Delta P_{1км} \cdot l_\Sigma \cdot K_з^2 = 18 • 0,7 • 0,44^2 = 2,44 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина кабельної лінії

$$l_\Sigma = l_{КЛ} • n = 0,70 • 1 = 0,70 \text{ км}$$

$n_л$ - кількість кабельних ліній в одній лінії, шт:

$$C_{втрат} = \Delta Э_1 \cdot C_0 = 16141 \cdot 8,9 = 143770 \text{ грн} = 143,77 \text{ тис. грн.}$$

де C_0 – вартість постачання та розподілу 1 кВт·год електроенергії; згідно з діючими тарифами C_0 = 8,907 грн/кВт·год.

Розрахунок поточних витрат та визначення техніко-економічних показників приводимо в таблицях 3.1-3.7.

Таблиця 3.1. Розрахунок параметрів кабельних ліній (перший варіант)

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	$I_р$, А	$I_{ф.р.}$, А	$F_{ек}$, мм^2	$F_{ст}$, мм^2	Марка кабелю	$I_{доп}$, А	$К_з$
КЛ-1	350,0	1,0	20,2	20,2	18,4	35	ААШв(3 × 35)	115	0,18
КЛ-2	350,0	1,0	20,2	20,2	18,4	35	ААШв(3 × 35)	115	0,18
КЛ-3	1499,0	2,0	43,3	173,3	39,4	50	ААШв(3 × 50)	140	0,15
КЛ-4	1499,0	2,0	43,3	173,3	39,4	50	ААШв(3 × 50)	140	0,15
КЛ-5	1499,0	2,0	43,3	173,3	39,4	50	ААШв(3 × 50)	140	0,15
КЛ-6	1499,0	2,0	43,3	173,3	39,4	50	ААШв(3 × 50)	140	0,15
КЛ-7	350,0	1,0	20,2	20,2	18,4	35	ААШв(3 × 35)	115	0,18
КЛ-8	350,0	1,0	20,2	20,2	18,4	35	ААШв(3 × 35)	115	0,18

Таблиця 3.2. Розрахунок втрат електричної енергії в кабельної мережі схеми (перший варіант)

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	$I_р$, А	$К_з$	*l*, км	ΔРл, кВт	ΔЕл, кВт*год	$С_о$, грн/кВт	$С_{втр}$, тис. грн
КЛ-1	350	1	20,231	13,9768644	0,71	0,242	1569,2	8,907	139,77
КЛ-2	350	1	20,231	14,1737091	0,72	0,245	1591,3	8,907	141,74
КЛ-3	1499	2	43,324	25,9149165	0,72	0,448	2909,5	8,907	259,15
КЛ-4	1499	2	43,324	25,9149165	0,72	0,448	2909,5	8,907	259,15
КЛ-5	1499	2	43,324	26,2747593	0,73	0,454	2949,9	8,907	262,75
КЛ-6	1499	2	43,324	26,2747593	0,73	0,454	2949,9	8,907	262,75
КЛ-7	350	1	20,231	14,1737091	0,72	0,245	1591,3	8,907	141,74
КЛ-8	350	1	20,231	14,3705538	0,73	0,249	1613,4	8,907	143,71
Всього							18084		161,07

Таблиця 3.3. Розрахунок параметрів кабельних ліній (другий варіант)

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	$I_р$, А	$I_{ф.р.}$, А	$F_{ек}$, мм^2	$F_{ст}$, мм^2	Марка кабелю	$I_{доп}$, А	$К_з$
КЛ1	4399,00	2,00	127,14	254,28	115,58	120	ААШв(3 × 120)	240	0,26
КЛ2	4399,00	2,00	127,14	254,28	115,58	120	ААШв(3 × 120)	240	0,26
КЛ3	350,00	1,00	20,23	20,23	18,39	35	ААШв(3 × 35)	115	0,18
КЛ4	350,00	1,00	20,23	20,23	18,39	35	ААШв(3 × 35)	115	0,18
КЛ5	1499,00	2,00	43,32	86,65	39,39	50	ААШв(3 × 50)	140	0,15
КЛ6	1499,00	2,00	43,32	86,65	39,39	50	ААШв(3 × 50)	140	0,15
КЛ7	1499,00	2,00	43,32	86,65	39,39	50	ААШв(3 × 50)	140	0,15
КЛ8	1499,00	2,00	43,32	86,65	39,39	50	ААШв(3 × 50)	140	0,15
КЛ9	350,00	1,00	20,23	20,23	18,39	35	ААШв(3 × 35)	115	0,18
КЛ10	350,00	1,00	20,23	20,23	18,39	35	ААШв(3 × 35)	115	0,18

Таблиця 3.4. Розрахунок втрат електричної енергії в кабельної мережі схеми (другий варіант)

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	$I_р$, А	$К_з$	*l*, км	ΔРл, кВт	ΔЕл, кВт*год	$С_{о,}$ грн/кВт	$С_{втр,}$ тис. грн
КЛ1	4399	2	127,14	0,26	0,7	1,768	16141	8,907	143,77
КЛ2	4399	2	127,14	0,26	0,7	1,768	16141	8,907	143,77
КЛ3	350	1	20,231	0,18	0,01	0,003	22,1	8,907	0,1968
КЛ4	350	1	20,231	0,18	0,02	0,007	44,2	8,907	0,3937
КЛ5	1499	2	43,324	0,15	0,02	0,012	80,8	8,907	0,7197

продовження таблиці 3.4

№ КЛ на схемі	Sp, кВА	n	Ip, А	Кз	l, км	ΔРл, кВт	ΔЕл, кВт*год	Со, грн/кВт	Свтр, т. грн
КЛ6	1499	2	43,324	0,15	0,02	0,012	80,8	8,907	0,7197
КЛ7	1499	2	43,324	0,15	0,03	0,019	121,2	8,907	1,0795
КЛ8	1499	2	43,324	0,15	0,03	0,019	121,2	8,907	1,0795
КЛ9	350	1	20,231	0,18	0,015	0,005	33,2	8,907	0,2957
КЛ10	350	1	20,231	0,18	0,02	0,007	44,2	8,907	0,3937
						3,620	32830		292,41

Таблиця 3.5 . Розрахунок капітальних вкладень

№ п/п	Найменування об'єкту	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис. грн	Вартість всього, тис. грн
І варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються ГЗП	шт	8	248	1984
	Кабельна лінія типу				0
	ААШв(3 × 35)	км	2,88	264,5	761,76
	ААШв(3 × 50)	км	2,9	266	771,4
	Траншея	км	6,358	119,9	762,32
	Всього по КЛ з урахуванням траншеї		1		2295,48
	Всього		1		4279,48
ІІ варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ, що встановлюються на ГЗП	шт	2	248	496
	ААШв(3 × 35)	км	0,065	264,5	17,19
	ААШв(3 × 50)	км	0,1	266	26,6
	ААШв(3 ×120)	км	1,4	275	385
	Траншея	км	1,7215	119,9	206,41
	Всього по КЛ з урахуванням траншеї		1		635,20
	Шафи з вимикачами 10 кВ, що встановлюються на РП	шт	8	248	1984
	Всього		1		3115,20

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

№ п/п	Найменування об'єкту	K_i, тис грн	P_a, %	C_a, %	P_e, %	C_e, %	$C_п$, тис грн
І варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	1984	15	297,6	5	99,2	396,8
	Кабельні лінії з урахуванням траншеї	2295,48	5	114,774	5	114,774	229,548
	Всього	4279,48		412,374		213,974	626,348
ІІ варіант	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	496	15	74,4	5	24,8	99,2
	Кабельні лінії з урахуванням траншеї	635,2	5	31,76	5	31,76	63,52
	Шафи з вимикачами 10 кВ, що встановлюються на РП	1984	15	297,6	5	99,2	396,8
	Всього	3115,2		403,76		155,76	559,52

Таблиця 3.3. Розрахунок зведених витрат по варіантах

Показники	Варіант	
	1	2
Капіталовкладення	4279,48	3115,2
Поточні затрати	626,35	559,52
Вартість втрат електроенергії	161,07	292,41
Приведені витрати	1300,96	1225,75

За зведеними витратами варіантів електропостачання зрозуміло, що другий варіант живлення цеху з встановленням РП має менші приведені витрати ліній, тому і приймаємо його для подальшого проектування.

За призначенням цехові електромережі поділяють на силові та освітлювальні, а за структурою — на живильні й розподільні. Живильні мережі з'єднують джерело живлення (ТП) із розподільними пунктами (РП), тоді як розподільні забезпечують підключення кінцевих електроприймачів. Топологія цехових мереж може базуватися на радіальних, магістральних або змішаних схемах.

4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Одне з ключових завдань, яке доводиться вирішувати під час проєктування або в процесі експлуатації систем промислового електропостачання, стосується компенсації реактивної потужності. Воно передбачає правильний вибір та розміщення її джерел у мережі. Передача реактивної потужності лініями та трансформаторами є економічно недоцільною, оскільки це знижує коефіцієнт корисної дії (ККД) системи та погіршує якість електроенергії.

4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір компенсуючих пристроїв

Виконаємо розрахунок балансу реактивної потужності для цехових ТП-1,2. Метою розрахунку балансу реактивної потужності є визначення необхідної потужності компенсувальних пристроїв для забезпечення нормативного коефіцієнта потужності cosφ на межі балансової належності цеху, а також для зниження втрат електроенергії в елементах системи електропостачання цеху.

На першому етапі визначається розрахункове активне Pp та реактивне Qp навантаження цеху без урахування компенсації.

Фактичний коефіцієнт потужності cosφ та відповідний йому tgφ визначаються за формулою:

$$tg\varphi = \frac{Q_p}{P_p}$$

Для того, щоб підвищити коефіцієнт потужності до нормативного або економічно доцільного значення (зазвичай cosφ = 0,92…0,95), необхідно розрахувати потрібну потужність конденсаторної батареї (КБ).

Проведемо розрахунок балансу активної та реактивної потужності.

Сумарне низьковольтне електричне навантаження:

$$P_н = \sum P_{ТП} = 1751 \text{ кВт} \qquad Q_н = \sum Q_{ТП} = 1281 \text{ кВАр}$$

Сумарні втрати в цехових ТП:

$$\Delta P_т = \sum \Delta P_{ТП} = 20 \text{ кВт} \qquad \Delta Q_т = \sum \Delta Q_{ТП} = 70{,}4 \text{ кВАр}$$

Сумарне високовольтне навантаження:

$$P_в = \sum P_{ВН} = 1120 \text{ кВт} \qquad Q_в = \sum Q_{ВН} = 840 \text{ кВАр}$$

Сумарне споживання активної та реактивної потужностей:

$$P_р = P_н + \Delta P_т + P_в = 1751 + 20 + 1120 = 2891 \text{ кВт}$$
$$Q_р = Q_н + \Delta Q_т + Q_в = 1281 + 70{,}4 + 840 = 2191{,}4 \text{ кВАр}$$

Реактивна потужність, яка споживається від системи:

$$Q_е = P_р \cdot tg\varphi_с = 2891 \cdot 0{,}15 = 433{,}65 \text{ кВАр}$$

Потужність компенсуючих пристроїв:

$$Q_{КП} = Q_р - Q_е = 2191{,}4 - 433{,}65 = 1757{,}75 \text{ кВАр}$$

Мінімальна кількість трансформаторів:

$$N_0 = \frac{P_н}{\beta \cdot S_{ном}} = \frac{1751}{0{,}7 \cdot 1000} = 2{,}5 \approx 3 \text{ шт.}$$

Надалі будуть розглядатися варіанти компенсації при кількості трансформаторів $N = N_0$, $N = N_0 + 1$, $N = N_0 + 2$.

Варіант 1. $N = N_0 =$ 3 шт.

Реактивна потужність, яка може бути передана із мережі 10 кВ в мережу 0,4 кВ:

$$Q_1 = \sqrt{(N \cdot \beta \cdot S_{ном})^2 - (P_н + \Delta P_т)^2} = \sqrt{(3 \cdot 0{,}7 \cdot 1000)^2 - 1771^2} = 1128{,}52 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі до 1000 В $Q_{КН}$, визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах ТП:

$$Q_{КН} = (Q_н + \Delta Q_т) - Q_1 = 1351{,}4 - 1128{,}52 = 222{,}88 \text{ кВАр}$$

Потужність КП, що встановлюються в мережі 10 кВ, $Q_{КВ}$, визначається із умови балансу реактивної потужності на шинах 10 кВ:

$$Q_{КВ} = Q_{КП} - Q_{КН} = 1757{,}75 - 222{,}88 = 1534{,}87 \text{ кВАр}$$

Розрахунок інших варіантів розрахунку КП виконується аналогічно.

Результати розрахунку зведено в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Розрахунок потужності компенсуючих пристроїв

№ варіанту	*Кількість тр-торів*	Q_1, *кВАр*	$Q_{КН}$, *кВАр*	$Q_{КВ}$, *кВАр*
1	3	1128,52	222,88	1534,87
2	4	2168,77	0	1757,75
3	5	3018,87	0	1757,75

Варіант 1. N = 3 шт.

Втрати активної потужності в КП:

$$\Delta P_{КН} = P_{ПИТ}^{КН} \cdot Q_{КН} = 0{,}0045 \cdot 670 = 3{,}02 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_{КВ} = P_{ПИТ}^{КВ} \cdot Q_{КВ} = 0{,}003 \cdot 1200 = 3{,}6 \text{ кВт}$$

Втрати активної потужності при передачі через трансформатори реактивної потужності:

$$\Delta P_{ТП} = \frac{P_{НН}^2 + Q_1^2}{U_Н^2} R_T \cdot 10^{-3} = \frac{1751^2 + 1128{,}52^2}{10^2} \cdot 0{,}29 \cdot 0{,}001 = 12{,}58 \text{ кВт}$$

де

$$R_{екв} = \frac{\Delta P_К \cdot U_{ном}^2}{N \cdot S_{ном}^2} \cdot 10^3 = \frac{8{,}6 \cdot 10^2}{3 \cdot 1000^2} \cdot 1000 = 0{,}29 \text{ Ом}$$

Вартість КП на стороні 0,4 кВ:

$$K_{КН} = \sum_{i=1}^{n} N_{КН\,i} \cdot K_{КН\,i} =$$

$= 2 \cdot 10{,}59 + 2 \cdot 18{,}42 = 58{,}02$ тис.грн.

Вартість КП на стороні 10 кВ:

$$K_{КВ} = \sum_{i=1}^{n} N_{КВ\,i} \cdot K_{КВ\,i} = 2 \cdot 30{,}21 + 2 \cdot 10{,}05 = 80{,}52 \text{ тис.грн.}$$

Вартість КТП:

$$K_{КТП} = N_{КТП\,(2)} \cdot K_{КТП\,(2)} + N_{КТП\,(1)} \cdot K_{КТП\,(1)} =$$
$$= 1 \cdot 1914 + 1 \cdot 1012{,}5 = 2926{,}5 \text{ тис.грн.}$$

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$З = E_Н \left(K_{КН} + K_{КВ} + K_{КТП}\right) + C_0 \tau \left(\Delta P_{КН} + \Delta P_{КВ} + \Delta P_{ТП}\right) =$$

$$= 0{,}12 \cdot (58{,}02 + 80{,}52 + 2926{,}5) + 8{,}907 \cdot 6617 \cdot (3{,}02 + 3{,}6 + 12{,}58) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 1499{,}41 \text{ тис.грн.}$$

Розрахунок двох інших варіантів проводиться аналогічно. Результати результати розрахунку приведені в таблиці 4.2.4.

Таблиця 4.2.4. Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності

№ вар.	$Q_{кн}$, *кВАр*	$\Delta P_{кн}$, *кВт*	$Q_{кв}$, *кВАр*	$\Delta P_{кв}$, *кВт*	$N_{тр}$, *шт.*	$R_{екв}$, *Ом*	$S_{пр}$, *кВА*	$\Delta P_{тп}$, *кВт*	$К_{кн}$, *тис. грн.*	$К_{кв}$, *тис. грн.*	$К_{ктп}$, *тис. грн.*	З, *тис. грн.*
1	670	3,02	1200	3,6	3	0,29	2083,16	12,58	58,02	80,52	2926,5	1499,4
2	200	0,9	1500	4,5	4	0,22	2787,39	17,09	22,02	100,62	3828	1799,6
3	0	0	1800	5,4	5	0,17	3489,93	20,71	0	120,84	4840,5	2134,2

4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування компенсуючих пристроїв

Вибір кількості, типу, потужності та місця розташування компенсувальних пристроїв (КП) має забезпечувати максимальну економічну ефективність за умови дотримання допустимих режимів напруги в живильних і розподільних мережах, а також допустимих струмових навантажень у всіх елементах системи. Компенсувальні пристрої необхідної сумарної потужності можуть встановлюватися як у мережах напругою 0,4 кВ, так і 10 кВ. Оптимальний розподіл потужності КП між мережами 0,4 кВ та 10 кВ визначається питомою вартістю пристроїв високої та низької напруги, витратами на встановлення комутаційного обладнання й додаткових трансформаторів ТП, а також вартістю електроенергії.

Отже, під час проєктування системи електропостачання доцільно розглянути кілька можливих варіантів розміщення КП, щоб обрати з-поміж них найбільш економічно вигідний.

Критерієм економічності є мінімум зведених розрахункових витрат, під час обчислення яких необхідно враховувати:

а) витрати на встановлення КП і додаткового обладнання для них;

б) зниження капіталовкладень у трансформаторні підстанції та спорудження живильних і розподільних мереж;

в) зменшення втрат електроенергії в елементах електричних мереж завдяки використанню КП.

На стороні 10 кВ передбачено встановлення чотирьох конденсаторних батарей типу 2хУКЛ-10,5-450У1 та 2хУКЛ-10,5-150У3. Дві з них використовуються для компенсації реактивної потужності високовольтних асинхронних двигунів (10 кВ) і підключаються паралельно з ними. Інші дві батареї встановлюються для загальної компенсації реактивної потужності на стороні 10 кВ з метою забезпечення заданого значення $tg\varphi$. Потужність конденсаторної установки обирається згідно з таблицею 4.2.1-4.2.3.

Таблиця 4.2.1. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 3 шт.

№ КТП	*К-сть т-рів*	$P_р$, *кВт*	$Q_р$, *кВАр*	$Q_{пр}$, *кВАр*	$Q_{кп}$, *кВАр*	*Кількість та потужність БК, шт.·кВАр*	*Сума* $Q_{БК}$, *кВАр*	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, *кВАр*	$K_з$	$S_р$, *кВА*
1	2	885	680,5	1084,79	0		0	0	0,56	1116,38
2	1	885	680,5	0	680,5	2·67; 2·268;	670	10,5	0,89	885,062

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 670 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2·450; 2·150; сумарна потужність БК 10 кВ складає 1200 кВАр.

Таблиця 4.2.2. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 4 шт.

№ КТП	*К-сть т-рів*	$P_р$, *кВт*	$Q_р$, *кВАр*	$Q_{пр}$, *кВАр*	$Q_{кп}$, *кВАр*	*Кількість та потужність БК, шт.·кВАр*	*Сума* $Q_{БК}$, *кВАр*	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, *кВАр*	$K_з$	$S_р$, *кВА*
1	2	885	680,5	1084,79	0		0	0	0,56	1116,38
2	2	885	680,5	1084,79	0	2·100;	200	-200	0,5	1007,03

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 200 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 2·450; 4·150; сумарна потужність БК 10 кВ складає 1500 кВАр.

Таблиця 4.2.3. Вибір типу та потужності БК при кількості трансформаторів N = 5 шт.

№ КТП	*К-сть т-рів*	$P_р$, *кВт*	$Q_р$, *кВАр*	$Q_{пр}$, *кВАр*	$Q_{кп}$, *кВАр*	*Кількість та потужність БК, шт.·кВАр*	*Сума* $Q_{БК}$, *кВАр*	$Q_{кп}$ - $Q_{бк}$, *кВАр*	$K_з$	$S_р$, *кВА*
1	2	885	680,5	1084,79	0		0	0	0,56	1116,38
2	3	885	680,5	1904,41	0		0	0	0,37	1116,38

Сумарна потужність БК на стороні 0,4 кВ складає 0 кВАр.

Кількість та потужність БК на стороні 10 кВ: 4·450; сумарна потужність БК 10 кВ складає 1800 кВАр.

5. РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ

Цехові електричні мережі поділяються на силові й освітлювальні, які, зі свого боку, діляться на живильні та розподільні. Цехові мережі проєктуються за радіальними, магістральними та змішаними схемами.

Вони повинні забезпечувати необхідну надійність електропостачання електроприймачів залежно від їхньої категорії, а також мати оптимальні техніко-економічні показники.

Радіальні схеми вирізняються високою надійністю, у них легко можна застосувати автоматику перемикань і захист. Магістральні мережі зазвичай потребують менших капітальних витрат на спорудження. Конструктивно цехові мережі виконуються з використанням комплектних силових пунктів і шинопроводів.

Відповідно до виробничих планувань, умов технологічного процесу, категорії споживачів та умов середовища в цеху, розробляємо схему силової мережі напругою 0,4 кВ. Силову мережу передбачається виконати за допомогою силових пунктів. Основою для вибору всіх елементів мережі є розрахункові навантаження цеху, визначені нижче.

5.1. Розрахунок силової мережі цеху

Перетин ліній цехових мереж напругою до 1000 В вибирається за їх нагрівом під дією тривалого розрахункового струму:

$$I_Р \leq K_{пр} \cdot I_{доп} \ , \qquad (5.1)$$

де $I_р$ – розрахунковий струм лінії;

$K_{пр}$ – поправочковий коефіцієнт на умови прокладки ліній;

$I_{доп}$ – тривалий допустимий струм провідника, для обраного захисного пристрою:

$$K_{пр} \cdot I_{доп} \geq K_{защ} \cdot I_з \ , \qquad (5.2)$$

Таблиця 5.1. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

№	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну		$n_{еф}$	$К_м$	Розрахункова потужність			Розр. струм
			Одного	Сума					Pcp	Qcp			Pp	Qp	Sp	Ip, A
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Ливарний цех															
	Відмітка 0-0 м															
	СП1															
	Тельфер	1	7,0 - 7	7		0,3	0,6	1,333	2,10	2,80						
	Маслонасоси	3	11,0 - 11	33		0,6	0,8	0,75	19,80	14,85						
	Всього по СП 1	4	7,0 - 11	40	2	0,548	0,606	0,806	21,9	17,65	4	1,60	35,06	19,42	40,07	57,9
	СП2															
	Тельфер	1	7 - 7	7		0,3	0,6	1,333	2,10	2,80						
	Маслонасоси	3	11,0 - 11	33		0,6	0,8	0,75	19,80	14,85						
	Зварювальні апарати	2	96,0 - 96	192		0,4	0,6	1,3	76,8	102,40						
	Машина для різки блоків	2	14,0 - 14	28		0,35	0,7	1,0	9,8	10,00						
	Піч сушильна	2	3,0 - 3	6		0,7	0,9	0,6	4,2	2,60						
	Разом СП2	10	3,0 - 96	266	32	0,424	0,4	1,2	112,7	132,65	6	1,62	182,5	145,9	233,7	337,7
	СП3															

продовження таблиці 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Вентилятори обдуву	5	75,0 - 74	375		0,6	0,8	0,8	225,0	168,75						
	Разом СП3	5	75,0 - 74	375		0,6	0,8	0,8	225,0	168,75	5	1,44	324,3	185,6	373,7	540,0
	Разом по відмітці 0-0	19	3,0 - 96	681	32	0,528	0,6	0,9	359,6	319,05	14	1,28	461,2	319,1	560,8	810,4
	Відмітка 3,3 м															
	СП4															
	Компресори	2	45,0 - 45	90		0,6	0,8	0,8	54,0	40,50						
	Аератори	1	7,5 - 8	7,5		0,7	0,8	0,8	5,3	3,94						
	Тельфери	3	5,0 - 5	15		0,35	0,8	0,8	5,3	3,94						
	Шпурова машина	1	20,0 - 20	20		0,3	0,8	0,8	6,0	4,81						
	Засувки електричні	2	4,5 - 5	9		0,4	0,8	0,8	3,6	2,89						
	Разом СП4	9	4,5 - 45	141,5	10	0,524	0,6	0,8	74,1	56,08	6	1,48	109,9	61,7	126,0	182,1
	СП5															
	Аератори	1	7,5 - 8	7,5		0,7	0,8	0,8	5,3	3,94						
	Тельфери	3	5,0 - 5	15		0,35	0,8	0,8	5,3	3,94						
	Шпурова машина	1	20,0 - 20	20		0,3	0,8	0,8	6,0	4,81						
	Засувки електричні	2	4,5 - 5	9		0,4	0,8	0,8	3,6	2,89						

продовження таблиці 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Разом СП5	7	4,5 - 20	51,5	4	0,39	0,6	0,8	20,1	15,58	5	1,76	35,4	17,1	39,3	56,8
	Разом відмітці 3,3	16	4,5 - 45	193	10	0,488	0,6	0,8	94,2	71,65	9	1,41	132,7	78,8	154,3	223,0
	Відмітка 9 м															
	СП6															
	Тельфери	4	7,5 - 8	30		0,35	0,8	0,8	10,5	7,88						
	Лебідки	4	6,0 - 6	24		0,4	0,8	0,8	9,6	7,70						
	Разом СП6	8	4,5 - 45	54	10	0,372	0,6	0,8	20,1	15,58	2	2,70	54,3	17,1	56,9	82,3
	СП7															
	Кондиціонери	2	10,0 - 10	20		0,7	0,8	0,8	14,0	10,50						
	Станції керування	4	1,5 - 2	5		0,7	0,8	0,8	3,5	2,63						
	Зварювальні випрямлячі	3	40,0 - 40	120		0,45	0,6	1,3	54,0	72,00						
	Разом СП7	9	1,5 - 45	145	30	0,493	0,4	1,2	71,5	85,13	6	1,52	108,9	93,6	143,6	207,5
	СП8															
	Тельфери	4	7,5 - 8	30		0,35	0,8	0,8	10,5	7,88						
	Лебідки	4	6,0 - 6	24		0,4	0,8	0,8	9,6	7,70						
	Разом СП8	8	1,5 - 45	54	30	0,372	0,6	0,8	20,1	15,58	2	2,70	54,3	17,1	56,9	82,3

продовження таблиці 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	СП9															
	Компресори	4	45,0 - 45	180		0,7	0,8	0,8	126,0	94,50						
	Разом СП9	4	45,0 - 45	180		0,7	0,8	0,8	126,0	94,50	4	1,36	171,1	104,0	200,2	289,3
	Разом по відмітці 9	29	6,0 - 8	433	1	0,549	0,6	0,9	237,7	210,78	29	1,18	279,3	210,8	349,9	505,7
	Відмітка 17															
	СП10															
	Вентилятори	4	22,0 - 55	154		0,6	0,8	0,8	92,4	69,30						
	Електромашини	1	5,0 - 5	5		0,3	0,8	0,8	1,5	1,20						
	Обдув монтеля	2	22,0 - 22	44		0,6	0,8	0,8	26,4	21,18						
	Вагон-клобель	2	16,5 - 17	33		0,13	0,8	0,8	4,3	3,22						
	Штормп ворота	2	4,0 - 4	8		0,3	0,8	0,8	2,4	1,80						
	Кран-балка	1	12,5 - 13	12,5		0,3	0,6	1,3	3,8	5,00						
	Разом СП10	12	1,5 - 55	256,5	37	0,51	0,6	0,8	130,74	101,70	9	1,39	181,3	111,9	213,0	307,9
	СП11															
	Насоси	5	30,0 - 30	150		0,6	0,8	0,8	90,0	67,50						
	Разом СП11	5	30,0 - 30	150	1	0,6	0,8	0,75	90	67,50	5	1,44	129,7	74,3	149,5	216,0

продовження таблиці 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	СП12															
	Вентилятори	4	22,0 - 55	154		0,6	0,8	0,8	92,4	69,30						
	Електромашини	1	5,0 - 5	5		0,3	0,8	0,8	1,5	1,20						
	Обдув монтеля	2	22,0 - 22	44		0,6	0,8	0,8	26,4	21,18						
	Вагон-клобель	4	16,5 - 17	66		0,13	0,8	0,8	8,6	6,44						
	Штормп ворота	2	4,0 - 4	8		0,3	0,8	0,8	2,4	1,80						
	Кран-балка	1	12,5 - 13	12,5		0,3	0,6	1,3	3,8	5,00						
	Разом СП12	14	1,5 - 55	289,5	37	0,466	0,6	0,8	135,03	104,92	11	1,38	186,5	104,9	214,0	309,3
	СП13															
	Гідронасоси	4	12,0 - 12	48		0,5	0,8	0,8	24,0	18,00						
	Вентилятори	4	22,0 22	88		0,6	0,8	0,8	52,8	39,60						
	Разом СП13	8	1,5 - 55	136	37	0,565	0,632	0,75	76,8	57,60	5	1,49	114,36	63,36	130,74	188,9
	Разом по відмітці 17	39	1,5 - 55	832	37	0,52	0,6	0,8	432,57	331,72	30	1,19	512,8	331,7	610,8	882,6
	Відмітка 24															
	СП14															
	Кран балка	1	12,5 - 13	12,5		0,4	0,7	1,2	5,0	5,85						

продовження таблиці 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Ліфти	2	11,8 - 22	12,75		0,5	0,7	1,0	6,4	6,50						
	Зварювальні апарати	3	16,0 - 16	48		0,35	0,6	1,3	16,8	22,40						
	Разом СП14	6	11,8 - 22	73,25	2	0,385	0,3	1,2	28,175	34,75	6	1,68	47,4	38,2	60,9	88,0
	СП15															
	Вентилятори	4	30,0 - 75	210		0,7	0,8	0,8	147,0	110,25						
	Разом СП15	4	30,0 - 75	210	2,5	0,7	0,8	0,75	147	110,25	4	1,36	199,6	121,3	233,5	337,5
	СП16															
	Кран балка	1	12,5 - 13	12,5		0,4	0,7	1,2	5,0	5,85						
	Ліфти	1	11,8 - 12	11,75		0,5	0,7	1,0	5,9	5,99						
	Зварювальні апарати	3	16,0 - 16	48		0,35	0,6	1,3	16,8	22,40						
	Разом СП16	5	11,8 - 75	72,25	6	0,38	0,3	1,2	27,675	34,24	2	2,66	73,5	37,7	82,6	119,4
	Разом по відмітці 24	15	11,8 - 22	355,5	2	0,57	0,6	0,9	202,8	179,24	15	1,24	251,8	179,2	309,1	446,7
	Разом по цеху	118	1,5 - 96	2800	64	0,52	0,58	0,86	1461,5	1262,7	58	1,13	1647,6	1262,7	2075,8	2999,7

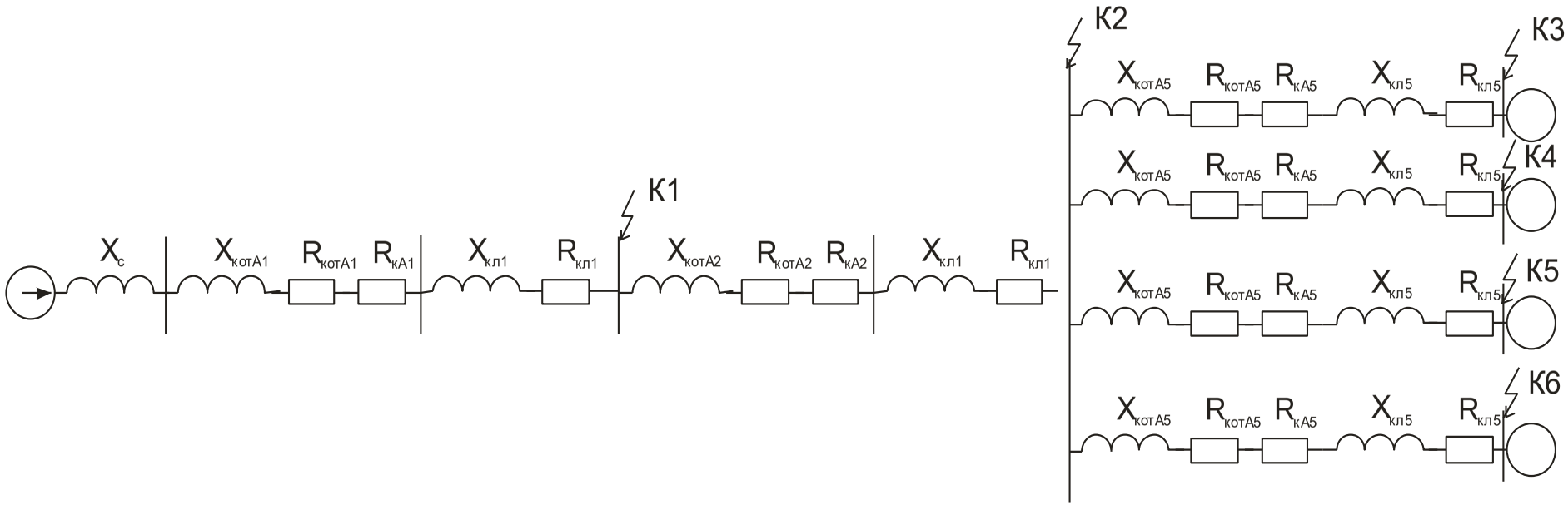

Рис. 5.4. Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ для СП1

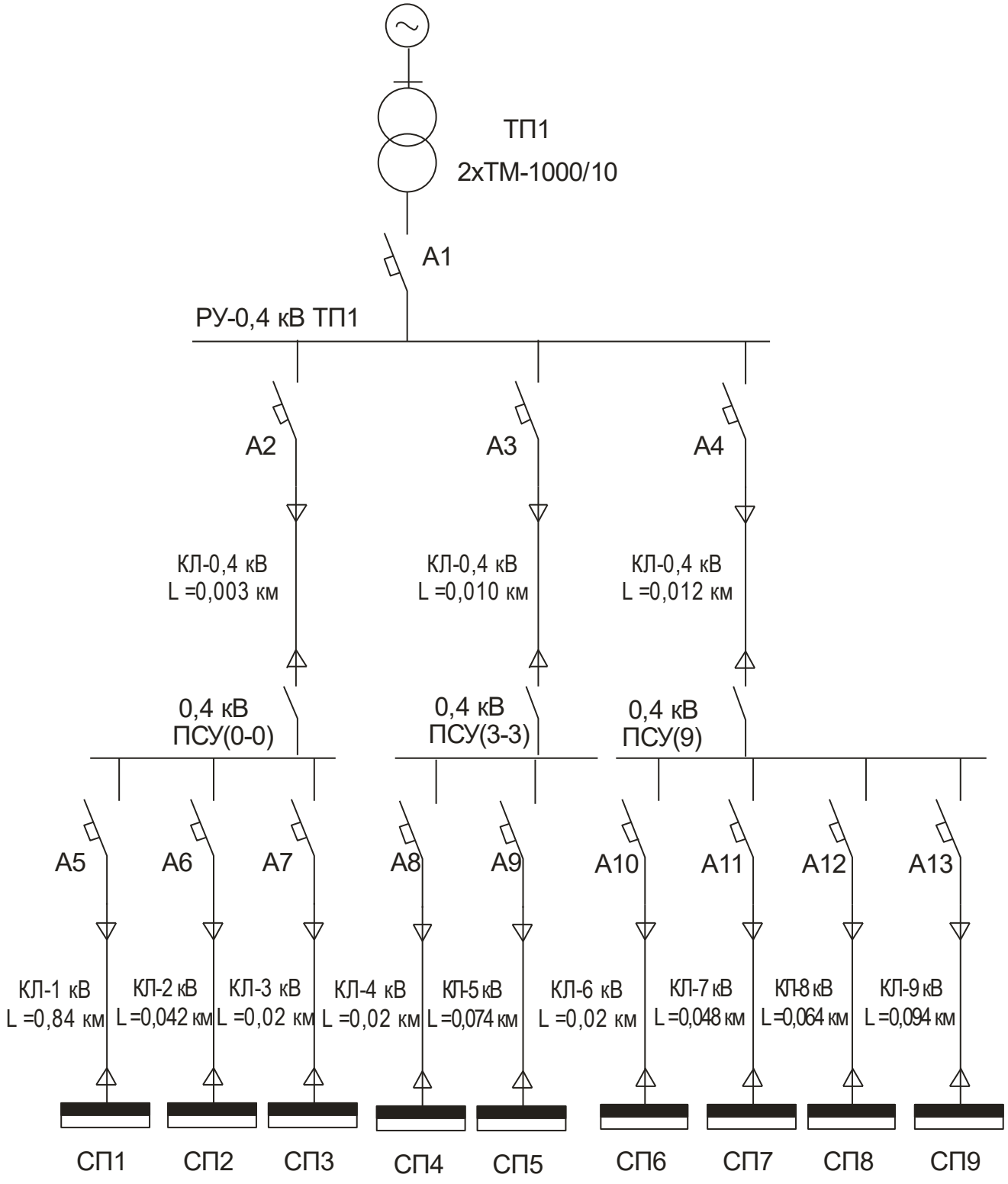

Рис. 5.1. Схема цехової мережі від ТП1

В даній роботі запропоновано виконання мережі 0,4 кВ ливарного цеху за допомогою силових пунктів 0,4 кВ, мережа виконується за радіальною схемою кабелями які прокладено відкрито на кабельних конструкціях вздовж стін.

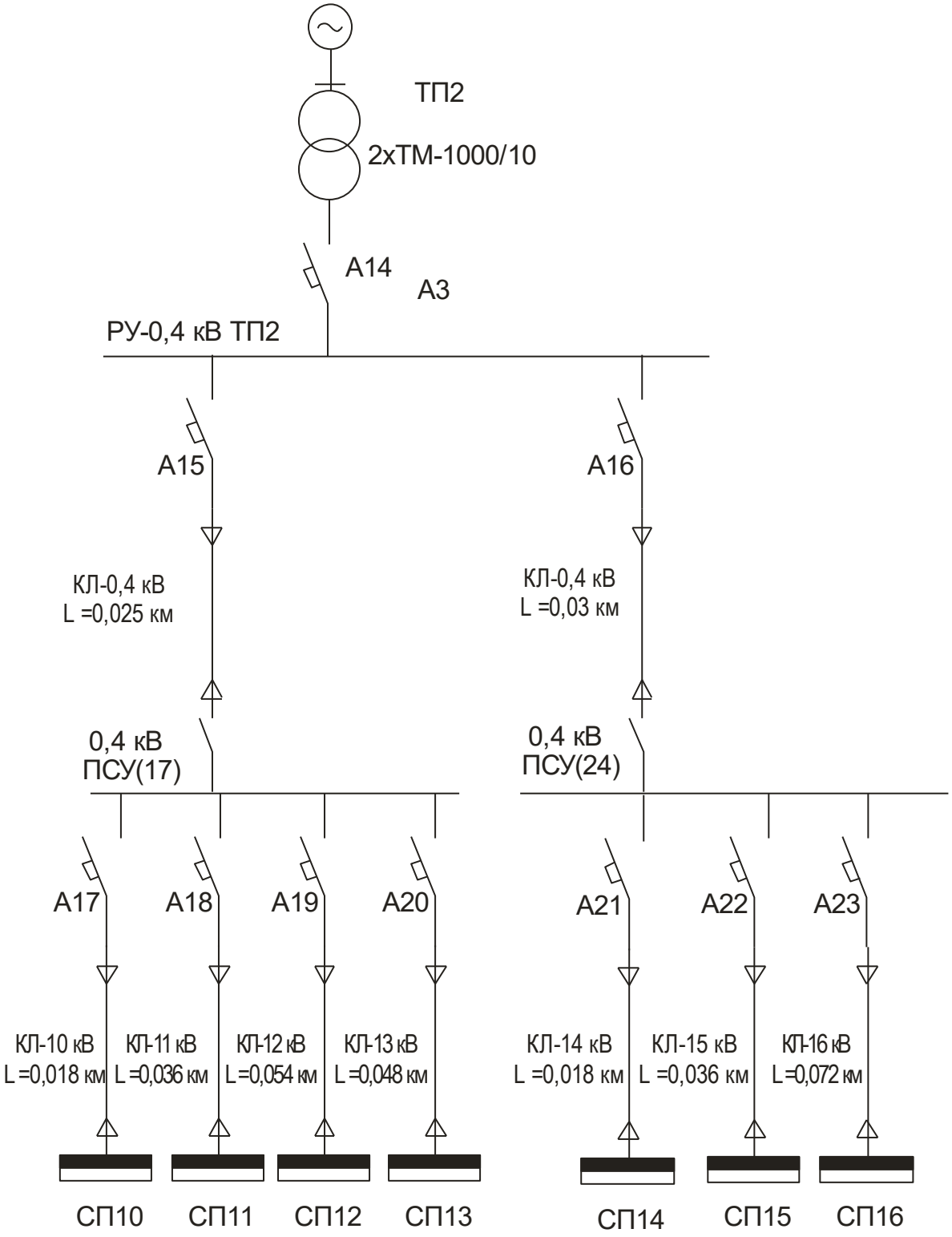

Рис. 5.2. Схема цехової мережі від ТП2

Переходи від кабельних конструкцій до споживачів в трубах у підлозі. Всі елементи силової мережі ливарного цеху вибрані згідно розрахункових навантажень. Розрахунки струмів КЗ даної схемі дуже громіздкі і потребують трудомістких розрахунків.

В якості прикладу приведемо розрахунок струмів КЗ для СП1, що живиться від трансформатора ТП1. Схема цехової мережі для СП1 приведена на рис.5.3, а схема заміщення на рис. 5.4

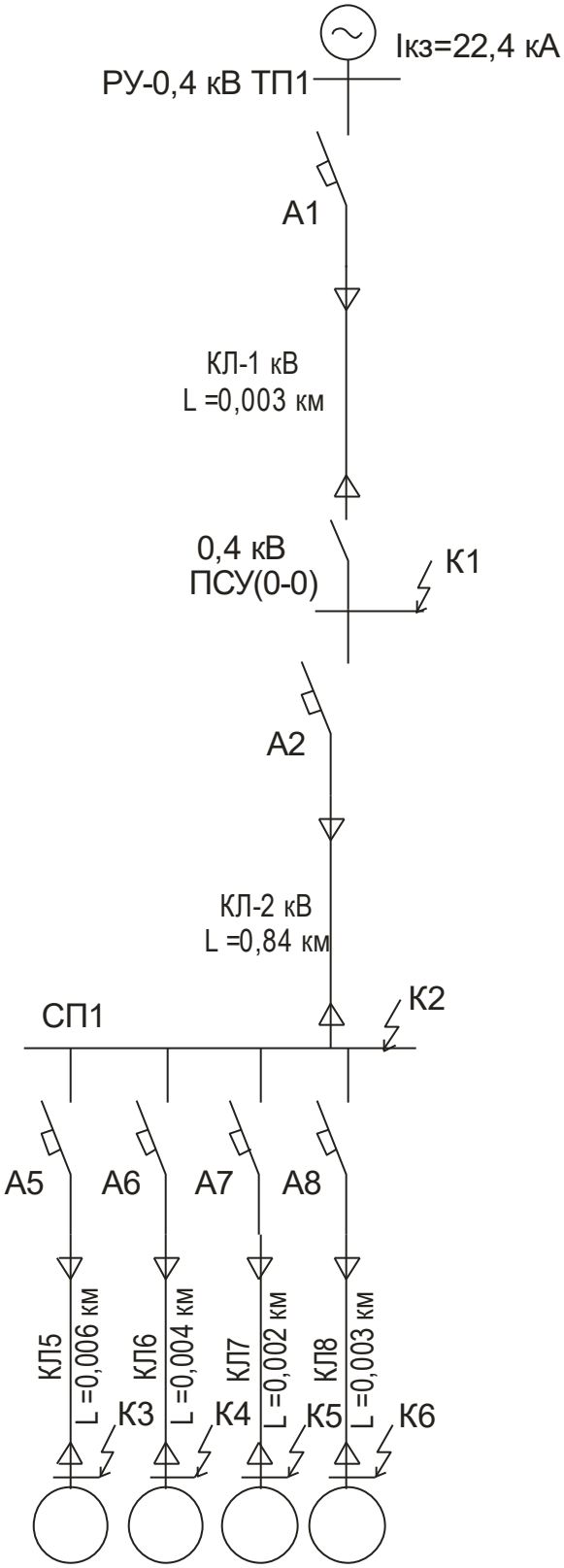

Рис. 5.3. Схема для розрахунку струмів КЗ для СП1

5.2 Вибір перерізів силової мережі 0,4 кВ

Переріз дротів та жил кабелів цехових мереж напругою до 1000 В обирається за умовами:

а) нагрів тривалим розрахунковим струмом:

$$I_{пр} \le K_{пр} \cdot I_{доп} \quad (5.1)$$

де I – розрахунковий струм лінії;

К – коригуючий коефіцієнт враховуючий умови прокладки ліній;

I – тривало допустимий струм провідника.

Б) струм обраного захисному пристрою:

$$I_{доп} \ge K_{защ} \cdot I_{з} \quad (5.2),$$

де К – коефіцієнт захисту;

I – номінальний струм або струм вмикання захисного пристрою.

За економічною щільністю струму перевірка кабелю цехових мереж робиться Т > 5000 ч.

в) втрата напруги в кінці лінії:

$$\Delta U \le \Delta U_{доп} \quad (5.3),$$

де U – допустима втрата струму на кабелі при умові збереження на затискачах. Втрати напруги в кабельній лінії довжиною l:

$$\Delta U\,\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p \cdot l}{U_н} \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot \sin\varphi) \quad (5.4),$$

або через tgφ:

$$\Delta U\,\% = \frac{P \cdot l \cdot 10^5}{U_н^{\,2}} \cdot (r_0 + X_0 \cdot tg\varphi) \quad (5.5),$$

де I – розрахунковий струм лінії; P – розрахункове навантаження лінії, кВт; r_0, x_0 – питомий опір лінії.

Розрахунок і перевірка перерізів кабельних ліній за втратою напруги є вирішальною при значних довжинах ліній.

Згідно з наведеною методикою виконуємо вибір кабелів. Розрахунок наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Вибір кабелів для цехової мережі

№п/п	Потужність споживача	Ір, А	$F_{розр}$, мм^2	$F_{ст}$, мм^3	n	$I_{доп}$, А	$K_з*I_з$	$K_{пр}*I_{доп}$	$F_{мін}$, мм^3	ΔU_i, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СП1										
16	11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,07
17	11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,04
18	11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,02
19	7	9,58	7,99	10	1	60	27,5	72	4	0,03
СП2										
1	96	131,43	109,52	50	2	155	275	372	25	1,39
2	14	19,17	15,97	16	1	95	44	114	4	0,51
3	3	4,11	3,42	4	1	29	27,5	34,8	4	0,31
4	3	4,11	3,42	4	1	29	27,5	34,8	4	0,19
5	14	19,17	15,97	16	1	95	44	114	4	0,10
6	96	131,43	109,52	50	2	155	275	372	25	0,10
7	7	9,58	7,99	10	1	60	27,5	72	4	0,27
8	11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,37
9	11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,34
10	11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,32
СП3										
11	75	102,68	85,56	50	2	155	275	372	25	0,08
12	75	102,68	85,56	50	2	155	275	372	25	0,18
13	75	102,68	85,56	50	2	155	275	372	25	0,34
14	75	102,68	85,56	50	2	155	275	372	25	0,49
15	75	102,68	85,56	50	2	155	275	372	25	0,64
СП4										
20	45	61,61	51,34	70	1	200	82,5	240	10	0,31
21	45	61,61	51,34	70	1	200	82,5	240	10	0,17
22	7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,04
23	5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,09
24	5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,13
25	20	27,38	22,82	25	1	105	69,3	126	6	0,68
26	4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,53
27	4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,43

продовження таблиці 5.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
28	5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,57
СП5										
29	5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,25
30	4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,35
31	4,5	6,16	5,13	6	1	35	27,5	42	4	0,25
32	20	27,38	22,82	25	1	105	69,3	126	6	0,70
33	5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,04
34	5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,13
35	7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,19
СП6										
36	7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,40
37	7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,47
38	6	8,21	6,85	10	1	60	27,5	72	4	0,41
39	6	8,21	6,85	10	1	60	27,5	72	4	0,47
40	7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,05
41	7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,36
42	6	8,21	6,85	10	1	60	27,5	72	4	0,09
43	6	8,21	6,85	10	1	60	27,5	72	4	0,14
СП7										
44	10	13,69	11,41	16	1	95	27,5	114	4	0,30
45	10	13,69	11,41	16	1	95	27,5	114	4	0,36
46	15	20,54	17,11	25	1	105	44	126	4	0,27
47	15	20,54	17,11	25	1	105	44	126	4	0,21
48	15	20,54	17,11	25	1	105	44	126	4	0,31
49	15	20,54	17,11	25	1	105	44	126	4	0,29
50	11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,06
51	11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,08
52	11	15,06	12,55	16	1	95	44	114	4	0,15
СП8										
53	6	8,21	6,85	10	1	60	27,5	72	4	0,49
54	6	8,21	6,85	10	1	60	27,5	72	4	0,55
55	6	8,21	6,85	10	1	60	27,5	72	4	0,03
56	6	8,21	6,85	10	1	60	27,5	72	4	0,09
61	7,5	0,00	0,00	2,5	1	22	0	26,4	2,5	0,00
62	7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,49
63	7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,06
64	7,5	10,27	8,56	10	1	60	27,5	72	4	0,31
СП9										
57	45	61,61	51,34	70	1	200	82,5	240	10	0,05
58	45	61,61	51,34	70	1	200	82,5	240	10	0,11
59	45	61,61	51,34	70	1	200	82,5	240	10	0,18

продовження таблиці 5.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
60	45	61,61	51,34	70	1	200	82,5	240	10	0,25
СП10										
65	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,35
66	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,17
67	55	75,30	62,75	70	1	200	176	240	16	0,04
68	55	75,30	62,75	70	1	200	176	240	16	0,07
69	5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,11
70	16,5	22,59	18,82	25	1	105	44	126	4	0,13
71	4	5,48	4,56	6	1	35	27,5	42	4	0,11
72	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,55
73	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,22
74	16,5	22,59	18,82	25	1	105	44	126	4	0,26
75	4	5,48	4,56	6	1	35	27,5	42	4	0,28
СП11										
88	30	41,07	34,23	35	1	125	82,5	150	10	0,13
89	30	41,07	34,23	35	1	125	82,5	150	10	0,13
90	30	41,07	34,23	35	1	125	82,5	150	10	0,16
91	30	41,07	34,23	35	1	125	82,5	150	10	0,22
92	30	41,07	34,23	35	1	125	82,5	150	10	0,26
СП12										
76	16,5	22,59	18,82	25	1	105	44	126	4	0,02
77	16,5	22,59	18,82	25	1	105	44	126	4	0,05
78	16,5	22,59	18,82	25	1	105	44	126	4	0,10
79	16,5	22,59	18,82	25	1	105	44	126	4	0,12
80	16,5	22,59	18,82	25	1	105	44	126	4	0,23
81	5	6,85	5,70	6	1	35	27,5	42	4	0,32
95	55	75,30	62,75	70	1	200	176	240	16	0,06
96	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,50
97	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,17
98	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,57
99	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,37
100	55	75,30	62,75	70	1	200	275	240	25	0,39
СП13										
82	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,13
83	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,04
84	12	16,43	13,69	16	1	95	44	114	4	0,23
85	12	16,43	13,69	16	1	95	44	114	4	0,27
86	12	16,43	13,69	16	1	95	44	114	4	0,10
87	12	16,43	13,69	16	1	95	44	114	4	0,12
93	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,57
94	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,16

продовження таблиці 5.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СП14										
101	11,75	16,09	13,41	16	1	95	44	114	4	0,45
103	16	21,90	18,25	25	1	105	44	126	4	0,38
104	16	21,90	18,25	25	1	105	44	126	4	0,36
105	16	21,90	18,25	25	1	105	44	126	4	0,34
109	22	30,12	25,10	35	1	125	69,3	150	6	0,05
114	12,5	17,11	14,26	16	1	95	44	114	4	0,19
СП15										
110	75	102,68	85,56	50	2	155	275	372	25	0,72
111	75	102,68	85,56	50	2	155	275	372	25	0,59
112	30	41,07	34,23	35	1	125	82,5	150	10	0,01
113	30	41,07	34,23	35	1	125	82,5	150	10	0,11
СП16										
102	11,75	16,09	13,41	16	1	95	44	114	4	0,64
106	16	21,90	18,25	25	1	105	44	126	4	0,28
107	16	21,90	18,25	25	1	105	44	126	4	0,26
108	16	21,90	18,25	25	1	105	44	126	4	0,24
115	12,5	17,11	14,26	16	1	95	44	114	4	0,06

5.3 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ

При розрахунку струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ враховуємо всі активні та реактивні елементи в розподільчій мережі 0,4 кВ ливарного цеху.

Розрахунок струмів короткого замикання в.

Опір системи живлення: $x_c = U_н^2 / S_{кз} = 0{,}38^2 / 387 = 0{,}71$ мОм,

де $S_{кз} = \sqrt{3}\, U_{ном}\, I_{кз} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 22{,}4 = 387$ МВА.

Опори трансформатора струму:

$r_{тт} = 0{,}05$ мОм $x_{тт} = 0{,}07$ мОм.

Опір вимикаючих апаратів:

$r_{кот} = 0{,}03$ мОм $x_{кот} = 0{,}07$ мОм $r_к = 0{,}1$ мОм .

Опір КЛ1 до ПСУ:

$r_0 = 0{,}005$ мОм/м $x_0 = 0{,}013$ мОм/м

Тоді $r_{кл1} = r_0\, l = 0{,}005 \cdot 20 = 0{,}01$ мОм $x_{шма} = x_0\, l = 0{,}013 \cdot 20 = 0{,}26$ мОм.

Сумарні опори:

$r_{\Sigma1}=r_{тр}+r_{тт}+2r_{кот}+2r_{к}+r_{кл1}=3,4+0,05+2\cdot0,03+2\cdot0,1+0,01=4,58$ мОм;

$x_{\Sigma1}=x_{тр}+x_{тт}+2x_{кот}+x_{кл1}=13,5+0,07+2\cdot0,07+0,26=15$ мОм;

Опір петлі фаза - нуль:

$z_{петлі\ шма} = z_{0\ петлі\ кл1}\ l = 0,145 \cdot 20 = 2,9$ мОм.

Опір вимикаючих апаратів А2:

$r_{кот} = 0,15$ мОм $x_{кот} = 0,1$ мОм $r_{к} = 0,4$ мОм

Опір КЛ2:

$r_0 = 0,2$ мОм/м $x_0 = 0,1$ мОм/м.

Тоді $r_{шра} = r_0\, l = 0,2 \cdot 60 = 12,6$ мОм $x_{шра} = x_0\, l = 0,1 \cdot 60 = 6$ мОм.

Сумарні опори:

$r_{\Sigma2} = r_{кот}+r_{к}+r_{\Sigma1}+r_{КЛ2}=0,15+0,4+4,58+12,6 = 13,15$ мОм;

$x_{\Sigma2} = x_{кот} + x_{\Sigma1} + x_{КЛ2} = 0,1+15+8,1 = 6,1$ мОм.

$z_2 = \sqrt{(r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2)} = \sqrt{(17,73^2 + 21,1^2)} = 27,6$ мОм.

Опір петлі фаза - нуль:

$z_{петлі\ к2} = z_{0\ петлі\ кл2}\ l\ + z_{петлі\ кл1} = 0,55 \cdot 60+2,9 = 35,9$ мОм.

Розподільчу мережу виконуємо кабелем

$$F_e = I_р / j_{ек} = 20,8/1,2 = 16,7 \text{ мм}^2,$$

де $I_р = S_р/(\sqrt{3}\cdot U_н) = 11/(\sqrt{3}\cdot0,38) = 20,8$ А

Приймаємо кабель АВВГ 4х16мм^2 з $I_{доп}$=95 А.

Проводимо перевірку кабеля за умовами експлуатації:

1. За допустимим струмом: $I_р \le K_п\, I_{доп}$ 20,8 А ≤ 95 А

Для кабеля :

Опір вимикаючих апаратів:

$r_{кот} = 2,4$ мОм $x_{кот} = 1,3$ мОм $r_{к} = 1$ мОм .

Опір кабеля:

$r_0 = 0,67$ мОм/м $x_0 = 0,06$ мОм/м .

Тоді $r_{кл} = r_0\, l = 0,67 \cdot 10 = 6,7$ мОм $x_{кл} = x_0\, l = 0,06 \cdot 10 = 0,6$ мОм.

Повний опір провода:

$z_3 = \sqrt{((r_{\Sigma1} + r_{\Sigma2} + r_{\Sigma3})^2 + (x_{\Sigma1} + x_{\Sigma2} + x_{\Sigma3})^2)} = \sqrt{((4{,}58 + 13{,}15 + 6{,}7)^2 + (15 + 6{,}1 + + 1{,}9)^2)} = 33{,}5$ мОм.

Повний опір петлі фаза – нуль:

$z_{п3} = z_{петлі\ кл1} + z_{петлі\ кл2} + z_{0\ петлі\ кл5} \cdot l = 2{,}9 + 33 + 2{,}22 \cdot 10 = 58{,}1$ мОм.

Розрахунок струмів КЗ.

Для К1

Трифазний струм КЗ: $I_{к1}^{(3)} = U_н / (\sqrt{3}\, z_1) = 380 / (\sqrt{3} \cdot 15{,}7) = 14$ кА.

Ударний струм $i_{уд} = \sqrt{2}\, K_{уд}\, I_{к1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 14 = 19{,}8$ кА.

Струм однофазного КЗ $$r_{к1}^{(1)} = \frac{U_ф}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{петліша}} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 2{,}9} = 13\,кА$$

Для К2

Трифазний струм КЗ: $I_{к2}^{(3)} = U_н / (\sqrt{3}\, z_2) = 380 / (\sqrt{3} \cdot 27{,}6) = 8$ кА.

Ударний струм $i_{уд} = \sqrt{2}\, K_{уд}\, I_{к2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 8 = 11{,}3$ кА.

Струм однофазного КЗ $$r_{к2}^{(1)} = \frac{U_ф}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{петліша}} = \frac{220}{\frac{56}{3} + 33} = 4{,}68\,кА$$

Для К3:

Трифазний струм КЗ: $I_{к3}^{(3)} = U_н/(\sqrt{3} z_3) = 380/(\sqrt{3} \cdot 33{,}5) = 6{,}5$ кА.

Ударний струм $i_{уд3} = \sqrt{2}\, K_{уд}\, I_{к3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 6{,}5 = 9{,}2$ кА.

Струм однофазного КЗ $$r_{к3}^{(1)} = \frac{U_ф}{\frac{z_m^{(1)}}{3} + z_{п3}} = \frac{220}{\frac{42}{3} + 58{,}1} = 3{,}05\,кА$$

Розрахунок струмів к.з. зведено до таблиці. 5.3

Табл. 5.3.Результати розрахунку струмів к.з. в мережі 0,4 кВ ливарного цеху.

Точка КЗ	параметри						
	R_Σ, мОм	X_Σ, мОм	Z_Σ, мОм	$I_{кз(3)}$, кА	$K_у$	$i_{уд}$	$I_{кз(1)}$, кА
К7	13,2	23	37,02	5,93	1,0	8,49	4,49
К8	10,226	22,658	35,36	6,21	1,0	8,89	5,56
К9	10,268	22,658	35,38	6,21	1,0	8,89	5,48
К10	10,31	22,658	35,39	6,21	1,0	8,88	5,41
К11	10,352	22,658	35,41	6,20	1,0	8,88	5,34
К12	10,394	22,658	35,43	6,20	1,0	8,87	5,27
К13	10,436	22,658	35,45	6,20	1,0	8,87	5,20
К14	10,478	22,658	35,46	6,19	1,0	8,86	5,13
К15	10,52	22,658	35,48	6,19	1,0	8,86	5,07
К16	10,562	22,658	35,50	6,19	1,0	8,86	5,00
К17	10,604	22,658	35,52	6,18	1,0	8,85	4,94
К18	10,646	22,658	35,53	6,18	1,0	8,85	4,88
К19	10,688	22,658	35,55	6,18	1,0	8,84	4,82
К20	10,73	22,658	35,57	6,18	1,0	8,84	4,77
К21	10,772	22,658	35,59	6,17	1,0	8,83	4,71
К22	10,814	22,7	35,64	6,16	1,0	8,82	4,40
К23	10,856	22,658	35,62	6,17	1,0	8,82	4,35
К24	10,898	22,658	35,64	6,16	1,0	8,82	4,31
К25	10,94	22,658	35,66	6,16	1,0	8,82	4,26
К26	10,982	22,658	35,68	6,16	1,0	8,81	4,21
К27	11,024	22,658	35,70	6,15	1,0	8,81	4,17
К28	11,066	22,658	35,72	6,15	1,0	8,80	4,13
К29	11,06	22,65	25,20	8,72	1,0	12,47	4,09
К30	11,05	22,64	25,19	8,72	1,0	12,48	4,04
К31	11,03	22,63	25,17	8,73	1,0	12,49	4,00
К32	11,02	22,62	25,16	8,73	1,0	12,49	3,96
К33	11,01	22,61	25,15	8,74	1,0	12,50	3,93
К34	11,00	22,60	25,13	8,74	1,0	12,51	3,89
К35	10,99	22,58	25,12	8,74	1,0	12,52	3,85
К36	10,98	22,57	25,10	8,75	1,0	12,52	3,81
К37	14,6	23,0	27,23	8,07	1,0	11,55	3,78
К38	18,0	23,4	29,52	7,44	1,0	10,65	3,74
К39	21,2	23,8	31,89	6,89	1,0	9,86	3,71
К40	24,2	24,3	34,25	6,41	1,0	9,18	3,67
К41	27,0	24,7	36,56	6,01	1,0	8,60	3,64
К42	29,6	25,1	38,79	5,66	1,0	8,10	3,61
К43	32,0	25,5	40,91	5,37	1,0	7,68	3,57
К44	34,2	25,9	42,91	5,12	1,0	7,33	3,54
К45	36,2	26,4	44,76	4,91	1,0	7,02	3,51
К46	38,0	26,8	46,47	4,73	1,0	6,76	3,48
К47	39,6	27,2	48,02	4,57	1,0	6,55	3,45
К48	41,0	27,6	49,42	4,44	1,0	6,36	3,42
К49	42,2	28,0	50,65	4,34	1,0	6,21	3,39
К50	43,2	28,5	51,71	4,25	1,0	6,08	3,36
К51	44,0	28,5	52,38	4,19	1,0	6,00	3,34

продовження таблиці 5.2.

Точка КЗ	параметри						
	Rσ, мОм	Xσ, мОм	Zσ, мОм	Iкз(3), кА	Ку	$i_{уд}$	Iкз(1), кА
К52	43,97	28,44	52,37	4,19	1,0	6,00	3,31
К53	43,96	28,43	52,35	4,20	1,0	6,00	3,28
К54	43,95	28,42	52,34	4,20	1,0	6,01	3,25
К55	43,94	28,41	52,33	4,20	1,0	6,01	3,23
К56	43,93	28,40	52,31	4,20	1,0	6,01	3,20
К57	43,92	28,39	52,30	4,20	1,0	6,01	3,18
К58	43,91	28,38	52,28	4,20	1,0	6,01	3,15
К59	43,90	28,37	52,27	4,20	1,0	6,01	3,13
К60	43,89	28,36	52,25	4,20	1,0	6,02	3,10
К61	43,88	28,35	52,24	4,20	1,0	6,02	3,08
К62	43,87	28,34	52,22	4,21	1,0	6,02	3,06
К63	43,86	28,33	52,21	4,21	1,0	6,02	3,03
К64	43,85	28,32	52,19	4,21	1,0	6,02	3,01
К65	43,84	28,31	52,18	4,21	1,0	6,02	4,49
К66	43,82	28,30	52,17	4,21	1,0	6,03	5,56
К67	43,81	28,29	52,15	4,21	1,0	6,03	5,48
К68	43,80	28,28	52,14	4,21	1,0	6,03	5,41
К69	43,79	28,27	52,12	4,21	1,0	6,03	5,34
К70	43,78	28,25	52,11	4,22	1,0	6,03	5,27
К71	43,77	28,24	52,09	4,22	1,0	6,03	5,20
К72	43,76	28,23	52,08	4,22	1,0	6,04	5,13
К73	43,75	28,22	52,06	4,22	1,0	6,04	5,07
К74	43,74	28,21	52,05	4,22	1,0	6,04	5,00
К75	43,73	28,20	52,04	4,22	1,0	6,04	4,94
К76	43,72	28,19	52,02	4,22	1,0	6,04	4,88
К77	43,71	28,18	52,01	4,22	1,0	6,04	4,82
К78	43,70	28,17	51,99	4,22	1,0	6,05	4,77
К79	43,69	28,16	51,98	4,23	1,0	6,05	4,71
К80	43,68	28,15	51,96	4,23	1,0	6,05	4,40
К81	43,67	28,14	51,95	4,23	1,0	6,05	4,35
К82	43,66	28,13	51,93	4,23	1,0	6,05	4,31
К83	43,65	28,12	51,92	4,23	1,0	6,05	4,26
К84	43,64	28,11	51,90	4,23	1,0	6,06	4,21
К85	43,63	28,10	51,89	4,23	1,0	6,06	4,17
К86	43,61	28,09	51,88	4,23	1,0	6,06	4,13
К87	43,60	28,08	51,86	4,24	1,0	6,06	4,09
К88	43,59	28,07	51,85	4,24	1,0	6,06	4,04
К89	43,58	28,06	51,83	4,24	1,0	6,07	4,00
К90	43,57	28,04	51,82	4,24	1,0	6,07	3,96
К91	43,56	28,03	51,80	4,24	1,0	6,07	3,93
К92	43,55	28,02	51,79	4,24	1,0	6,07	3,89
К93	43,54	28,01	51,77	4,24	1,0	6,07	3,85
К94	43,53	28,00	51,76	4,24	1,0	6,07	3,81
К95	43,52	27,99	51,74	4,24	1,0	6,08	3,78
К96	43,51	27,98	51,73	4,25	1,0	6,08	3,74

продовження таблиці 5.2.

Точка КЗ	параметри						
	R_Σ, мОм	X_Σ, мОм	Z_Σ, мОм	$I_{кз(3)}$, кА	$K_у$	$i_{уд}$	$I_{кз(1)}$, кА
К97	43,50	27,97	51,72	4,25	1,0	6,08	3,71
К98	43,49	27,96	51,70	4,25	1,0	6,08	3,67
К99	43,48	27,95	51,69	4,25	1,0	6,08	3,64
К100	43,47	27,94	51,67	4,25	1,0	6,08	3,61
К101	43,46	27,93	51,66	4,25	1,0	6,09	3,57
К102	43,45	27,92	51,64	4,25	1,0	6,09	3,54
К103	43,44	27,91	51,63	4,25	1,0	6,09	3,51
К104	43,43	27,90	51,61	4,26	1,0	6,09	3,48
К105	43,42	27,89	51,60	4,26	1,0	6,09	3,45
К106	43,40	27,88	51,59	4,26	1,0	6,09	3,42
К107	43,39	27,87	51,57	4,26	1,0	6,10	3,39
К108	43,38	27,86	51,56	4,26	1,0	6,10	3,36
К109	43,37	27,85	51,54	4,26	1,0	6,10	3,34
К110	43,36	27,83	51,53	4,26	1,0	6,10	3,31
К111	43,35	27,82	51,51	4,26	1,0	6,10	3,28
К112	43,34	27,81	51,50	4,27	1,0	6,10	3,25
К113	43,33	27,80	51,48	4,27	1,0	6,11	3,23
К114	43,32	27,79	51,47	4,27	1,0	6,11	3,20
К115	43,31	27,78	51,45	4,27	1,0	6,11	3,18
К116	43,30	27,77	51,44	4,27	1,0	6,11	3,15
К117	43,29	27,76	51,43	4,27	1,0	6,11	3,13
К118	43,28	27,75	51,41	4,27	1,0	6,11	3,10
К119	43,27	27,74	51,40	4,27	1,0	6,12	3,08
К120	43,26	27,73	51,38	4,27	1,0	6,12	3,06
К121	43,25	27,72	51,37	4,28	1,0	6,12	3,03
К122	43,24	27,71	51,35	4,28	1,0	6,12	3,01
К123	43,23	27,70	51,34	4,28	1,0	6,12	2,99
К124	43,22	27,69	51,32	4,28	1,0	6,13	2,96
К125	43,21	27,68	51,31	4,28	1,0	6,13	2,94
К126	43,19	27,67	51,30	4,28	1,0	6,13	2,92
К127	43,18	27,66	51,28	4,28	1,0	6,13	2,90
К128	43,17	27,65	51,27	4,28	1,0	6,13	2,88
К129	43,16	27,64	51,25	4,29	1,0	6,13	4,40
К130	43,15	27,62	51,24	4,29	1,0	6,14	4,35
К131	43,14	27,61	51,22	4,29	1,0	6,14	4,31
К132	43,13	27,60	51,21	4,29	1,0	6,14	4,26
К133	43,12	27,59	51,19	4,29	1,0	6,14	4,21
К134	43,11	27,58	51,18	4,29	1,0	6,14	4,17
К135	43,10	27,57	51,16	4,29	1,0	6,14	4,13
К136	43,09	27,56	51,15	4,29	1,0	6,15	4,09
К137	43,08	27,55	51,14	4,30	1,0	6,15	4,04
К138	43,07	27,54	51,12	4,30	1,0	6,15	4,00
К139	43,06	27,53	51,11	4,30	1,0	6,15	3,96
К140	43,05	27,52	51,09	4,30	1,0	6,15	3,93

5.4 Вибір автоматів в мережі 0,4 кВ.

Цехові ТП зі сторони низької напруги обладнані шафами типу СПМ-77 та ВА-2004N, які можуть комплектуватися автоматами типу FMC8C 3P. Автомати обираються виходячи з наступних умов:

1. Номінальний струм роз'єднувача будь-якого типу обираються по розрахунковому струму з умов:

$$I_{н.рц.} \geq I_{р}$$
$$I_{н.рц.} \geq I_{пік} \quad (5.6)$$

Для окремих електродвигунів по умовам перевантаження пусковими струмами:

$$I_{н.рц} \geq I_{пуск} / K \quad (5.7)$$

2. Захист від перевантаження робиться вибором установки теплового розєднувача:

$$I_{у.тепл.} \geq I_{р}$$
$$I_{у.тепл.} \geq 1,25 I_{пуск} \quad (5.8)$$

3. Захист від к.з. робиться вибором установки електромагнітного розєднувача:

$$I_{е.м} \geq 1,25 I_{пік} \quad (5.9)$$

4. Надійність спрацювання при однофазних к.з.:

$$I^{(1)}_{к.з.} \geq 1,25 I_{тепл} \quad (5.10)$$

5. Вимикаюча здатність автомата:

$$I_{откл} > I^{(3)}_{к.з.} \quad (5.11)$$

6. перевірка на динамічну стійкість до ударних струмів:

$$I_{дин} = i_{вимк} \geq i_{у} \quad (5.12)$$

А1:

На вхідних лініях приймаємо ввідний автомат типу FMC8C 3P

Номінальний струм ввідного апарата:

$I_{н.а.} = 1,4 \cdot S_{нт} / (\sqrt{3} \cdot U_{н}) = 1,4 \cdot 1000 / (\sqrt{3} \cdot 0,38) = 2032$ А

Номінальний струм розціплювача:

$I_{н.розц.}$ = 2500 А

Струм уставки спрацювання у зоні струмів перевантаження:

$I_{у\ тепл} = 1{,}25\ I_{н\ розц} = 1{,}25 \cdot 1500 = 1875$ А

Струм уставки спрацювання в зоні КЗ:

$I_{у\ розц} = 4\ I_{р\ ном} = 4 \cdot 1500 = 6000$ А.

Витримка часу дії при перевантаженні $t_{ср} = 0{,}6$ с.

Перевіряємо вимикач за надійністю спрацювання при КЗ:

$I_{к1}^{(3)} = 14$ кА $\geq I_{у\ розц} = 6$ кА

$I_{к1}^{(1)} = 13$ кА $\geq (1{,}3 - 1{,}5)\ I_{у\ розц} = 9$ кА.

А2:

Відходячі лінії СП комплектуються автоматами серії ВА-2004N

Номінальний струм автомата:

$I_{н.а.} = 250$ А $> I_{р} = 230$ А

Номінальний струм розцеплювача:

$I_{н.розц.} = 250$ А$> I_{доп} = 230$

Струм уставки спрацювання у зоні струмів перевантаження:

$I_{у\ тепл} = 1{,}25\ I_{н\ розц} = 1{,}25 \cdot 250 = 313$ А

Струм уставки спрацювання в зоні КЗ:

$I_{у\ розц} = 3\ I_{р\ ном} = 3 \cdot 250 = 750$ А.

Витримка часу дії при перевантаженні $t_{ср} = 0{,}1$ с.

Перевіряємо вимикач за надійністю спрацювання при одно- і трифазному КЗ:

$I_{к2}^{(3)} = 8$ кА $\geq I_{у\ розц} = 0{,}75$ кА

$I_{к1}^{(1)} = 4{,}68$ кА $\geq (1{,}3 - 1{,}5)\ I_{у\ розц} = 0{,}95$ кА.

А5:

На відпайках від КЛ до споживачів встановлюємо автомати серії ВА-2004N.

Приведемо розрахунок для вентиляторів:

Номінальний струм розцеплювача $I_{н.розц} = 63$ А

Струм уставки спрацювання у зоні струмів перевантаження:

$I_{у\ тепл} = 1{,}25\ I_{н\ розц} = 1{,}25 \cdot 63 = 78{,}75$ А

Струм уставки спрацювання в зоні КЗ:

$I_{у\ розц} = 7\ I_{р\ ном} = 3 \cdot 63 = 441$ А.

Перевіряємо вимикач за надійністю спрацювання при одно- і трифазному КЗ:

$I_{к2}^{(3)} = 6{,}4$ кА $\geq I_{у\ розц} = 0{,}44$ кА

$I_{к1}^{(1)} = 6{,}4$ кА $\geq (1{,}3 - 1{,}5)\ I_{у\ розц} = 0{,}573$ кА.

Аналогічно проводимо розрахунки для іншого обладнання. Результати розрахунків зводимо до таблиці 5.4.

Табл. 5.4. Вибір автоматів в мережі 0,4 кВ.

№п/п	Рн	Ін, А	Ір, А	Іп, А	Ін.авт., А	Тип автомата	Ін.розц., А	Іу.тепл, А	Іу.розц., А
СП1									
16	11	16,73	15,06	105,4	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
17	11	16,73	15,06	105,4	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
18	11	16,73	15,06	105,4	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
19	7	10,65	9,583	67,08	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
СП2									
1	96	146	131,4	920	160	ВА-2004N	250	312,5	937,5
2	14	21,3	19,17	134,2	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
3	3	4,563	4,107	28,75	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
4	3	4,563	4,107	28,75	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
5	14	21,3	19,17	134,2	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
6	96	146	131,4	920	160	ВА-2004N	250	312,5	937,5
7	7	10,65	9,583	67,08	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
8	11	16,73	15,06	105,4	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
9	11	16,73	15,06	105,4	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
10	11	16,73	15,06	105,4	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
СП3									
11	75	114,1	102,7	718,7	160	ВА-2004N	250	312,5	937,5
12	75	114,1	102,7	718,7	160	ВА-2004N	250	312,5	937,5
13	75	114,1	102,7	718,7	160	ВА-2004N	250	312,5	937,5
14	75	114,1	102,7	718,7	160	ВА-2004N	250	312,5	937,5
15	75	114,1	102,7	718,7	160	ВА-2004N	250	312,5	937,5
СП4	Рн								
20	45	68,45	61,61	431,2	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
21	45	68,45	61,61	431,2	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3

продовження таблиці 5.4

№п/п	Рн	Ін, А	Ір, А	Іп, А	Ін.авт., А	Тип автомата	Ін.розц., А	Іу.тепл, А	Іу.розц., А
22	7,5	11,41	10,27	71,87	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
23	5	7,606	6,845	47,92	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
24	5	7,606	6,845	47,92	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
25	20	30,42	27,38	191,7	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
26	4,5	6,845	6,161	43,12	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
27	4,5	6,845	6,161	43,12	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
28	5	7,606	6,845	47,92	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
СП5									
29	5	7,606	6,845	47,92	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
30	4,5	6,845	6,161	43,12	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
31	4,5	6,845	6,161	43,12	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
32	20	30,42	27,38	191,7	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
33	5	7,606	6,845	47,92	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
34	5	7,606	6,845	47,92	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
35	7,5	11,41	10,27	71,87	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
СП6									
36	7,5	11,41	10,27	71,87	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
37	7,5	11,41	10,27	71,87	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
38	6	9,127	8,214	8,214	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
39	6	9,127	8,214	8,214	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
40	7,5	11,41	10,27	71,87	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
41	7,5	11,41	10,27	71,87	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
42	6	9,127	8,214	57,5	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
43	6	9,127	8,214	57,5	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
СП7									
44	10	15,21	13,69	95,83	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
45	10	15,21	13,69	95,83	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
46	15	22,82	20,54	143,7	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
47	15	22,82	20,54	143,7	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
48	15	22,82	20,54	143,7	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
49	15	22,82	20,54	143,7	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
50	11	16,73	15,06	105,4	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
51	11	16,73	15,06	105,4	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
52	11	16,73	15,06	105,4	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
СП8									
53	6	9,127	8,214	57,5	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
54	6	9,127	8,214	57,5	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
55	6	9,127	8,214	57,5	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
56	6	9,127	8,214	57,5	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
61	7,5								
62	7,5	11,41	10,27	71,87	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
63	7,5	11,41	10,27	71,87	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
64	7,5	11,41	10,27	71,87	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
СП9									
57	45	68,45	61,61	61,61	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3

продовження таблиці 5.4

№п/п	Рн	Ін, А	Ір, А	Іп, А	Ін.авт., А	Тип автомата	Ін.розц., А	Іу.тепл, А	Іу.розц., А
58	45	68,45	61,61	431,2	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
59	45	68,45	61,61	431,2	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
60	45	68,45	61,61	431,2	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
СП10									
65	22	33,47	30,12	210,8	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
66	22	33,47	30,12	210,8	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
67	55	83,66	75,3	527,1	100	ВА-2004N	160	200,0	600,0
68	55	83,66	75,3	527,1	100	ВА-2004N	160	200,0	600,0
69	5	7,606	6,845	47,92	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
70	16,5	25,1	22,59	158,1	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
71	4	6,085	5,476	38,33	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
72	22	33,47	30,12	210,8	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
73	22	33,47	30,12	210,8	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
74	16,5	25,1	22,59	158,1	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
75	4	6,085	5,476	38,33	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
СП11									
88	30	45,63	41,07	287,5	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
89	30	45,63	41,07	287,5	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
90	30	45,63	41,07	287,5	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
91	30	45,63	41,07	287,5	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
92	30	45,63	41,07	287,5	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
СП12									
76	16,5	25,1	22,59	158,1	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
77	16,5	25,1	22,59	158,1	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
78	16,5	25,1	22,59	158,1	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
79	16,5	25,1	22,59	158,1	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
80	16,5	25,1	22,59	158,1	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
81	5	7,606	6,845	47,92	15	ВА-2004N	25	31,3	93,8
95	55	83,66	75,3	527,1	100	ВА-2004N	160	200,0	600,0
96	22	33,47	30,12	210,8	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
97	22	33,47	30,12	210,8	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
98	22	33,47	30,12	210,8	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
99	22	33,47	30,12	30,12	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
100	55	83,66	75,3	75,3	160	А3730	250	312,5	937,5
СП13									
82	22	33,47	30,12	30,12	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
83	22	33,47	30,12	30,12	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
84	12	18,25	16,43	16,43	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
85	12	18,25	16,43	16,43	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
86	12	18,25	16,43	16,43	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
87	12	18,25	16,43	16,43	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
93	22	33,47	30,12	30,12	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
94	22	33,47	30,12	30,12	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
СП14									
101	11,75	17,87	16,09	16,09	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0

продовження таблиці 5.4

№п/п	Рн	Ін, А	Ір, А	Іп, А	Ін.авт., А	Тип автомата	Ін.розц., А	Іу.тепл, А	Іу.розц., А
103	16	24,34	21,9	21,9	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
104	16	24,34	21,9	21,9	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
105	16	24,34	21,9	21,9	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
109	22	33,47	30,12	30,12	40	ВА-2004N	63	78,8	236,3
114	12,5	19,01	17,11	17,11	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
СП15									
110	75	114,1	102,7	102,7	160	А3730	250	312,5	937,5
111	75	114,1	102,7	102,7	160	А3730	250	312,5	937,5
112	30	45,63	41,07	41,07	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
113	30	45,63	41,07	41,07	63	ВА-2004N	75	93,8	281,3
СП16									
102	11,75	17,87	16,09	16,09	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
106	16	24,34	21,9	21,9	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
107	16	24,34	21,9	21,9	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
108	16	24,34	21,9	21,9	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0
115	12,5	19,01	17,11	17,11	25	ВА-2004N	40	50,0	150,0

5.5. Розрахунок електричних мереж освітлювальних установок

Основна задача освітлювальних мереж полягає у виборі таких перерізів та кабелів, які допускають проходження розрахункового струму освітлювального навантаження на затискачах освітлювальних установок та мають достатню механічну міцність. По допустимому нагріву повинні бути перевірені всі дільниці електричної освітлювальної мережі. При цьому повинна бути вірною умова $I \leq I_{доп}$. Важливою умовою розрахунку електричних освітлювальних мереж є забезпечення допустимого відхилення напруги на затискачах освітлювальних установок.

Припустима втрата напруги у найбільш віддаленого освітлювального електроприймача:

$$\Delta U_{доп}\% = U_{хх} - U_{\min} - \Delta U_T = 105 - 97,5 - 1,18 = 6,32\%$$

$$\Delta U_т = K(U_a \cos\varphi + U_p \sin\varphi) = 0,539(1,394 \cdot 0,992 + 5,332 \cdot 0,125) = 1,18\%$$

$$U_a = 100\Delta P_{кз} / S_{Н.Т.} = (100 \cdot 8,5) / 630 = 1,16\%$$

$$U_p = \sqrt{(U_K^2 - U_a^2)} = \sqrt{(5,5^2 - 1,394^2)} = 5,332\%$$

Проводимо розрахунки для всіх ділянок мережі, результати зводимо в таблицю 5.5.

Табл.5.5. Розрахунок освітлювальної мережі.

Номер дільниці мережі	Момент, кВт·м	Розрахунковий переріз, мм^2	Стандартний переріз, мм^2	Втрата напруги, %
1	2	3	4	5
1-2	70	1,7	2,5	0,63
5-6	500	2,51	4	2,84
2-3	175	0,7	2,5	1,6
2-4	175	0,7	2,5	1,6
6-7	85	0,56	2,5	0,77
6-8	85	0,56	2,5	0,77

Прокладання кабелів освітлювальної мережі здійснюється дротом марки АПВ. До рівня підвісу ліхтарів прокладання здійснюється в трубах діаметром 40 мм, далі тросове прокладення на катанці діаметром 5,5 мм. Живлення освітлювальних мереж здійснюється від щитів типу ЩО 31-32 з відходящими автоматами ВА-2004-N.

Для розподілення електричної енергії для захисту від перевантажень та струмів короткого замикання групових ліній в мережах з глухозаземленою нейтраллю при напрузі 380 В використовують освітлювальні щитки типу ЩОГ. Приймаємо для встановлення щиток типу ЩОГ-6.

Таблиця 5.6 Параметри освітлювального щитка

Тип щитка	Тип апарата на вводі	Ін, А	Кількість відходящих ліній	Виконання	Розміри, мм
ЩОГ-6/І	ВА-2004N	100	6	Настінне	500х410

6. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ З ПІДВИЩЕННЯМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

6.1. Техніко-економічне порівняння варіантів електропостачання цеху

Враховуючи специфіку об'єкта (ливарний цех із 5-ма рівнями), порівняємо два підходи. Традиційна схема **з**арактеризується радіальною побудовою. Потребує великої кількості кабельних трас, лотків та окремих приміщень або зон для встановлення розподільчих щитів (СП1–СП16). Має високе пожежне навантаження. Запропонована схема **з** магістральною будовою. Завдяки штепсельним вікнам обладнання підключається безпосередньо біля місця встановлення, що критично важливо для мобільних електроприймачів. В таблиці 6.1 наведені критерії оцінки варіантів електропостачання цеху

Таблиця 6.1. **К**ритерії порівняння варіантів електропостачання цеху

Критерій порівняння	Існуюча мережа з силовими пунктами	Модернізована мережа з шинопроводами
Гнучкість системи	Низька. Перенесення обладнання вимагає прокладання нових ліній.	Висока. Підключення модулів відгалуження у будь-якому вікні ШРА.
Втрати напруги та потужності	Вищі через більший опір довгих кабельних ліній.	Значно нижчі завдяки компактному розташуванню шин.
Монтаж та простір	Займає багато місця, потребує складних кабельних конструкцій.	Компактна модульна система, швидкий монтаж готовими секціями.
Надійність та стійкість	Схильність до перегріву в пучках, нижча стійкість до КЗ.	Висока стійкість до струмів КЗ, відмінне тепловідведення.

6.2. Розрахунок та вибір магістральних шинопроводів

Загальне розрахункове навантаження цеху становить $S_{р} = 2075{,}8$ кВА, а струм $I_{р} = 2999{,}7$ А. При застосуванні двох магістралей від двотрансформаторної підстанції навантаження розподіляється симетрично (по 50% навантаження на кожну лінію):

$$S_{р.маг} = \frac{2075{,}8}{2} = 1037{,}9 \text{ кВА}$$

$$I_{р.маг} = \frac{2999{,}7}{2} = 1499{,}85 \text{ А}$$

Оскільки розрахунковий струм становить близько 1500 А, для кожної магістралі приймаємо стандартний номінал шинопроводу 1600 А (наприклад, компактні шинопроводи з «сендвіч»-ізоляцією та алюмінієвими провідниками).

У разі виходу з ладу одного трансформатора вмикається секційний вимикач (АВР), і робочий трансформатор бере на себе живлення обох секцій РУ-0,4 кВ (із можливим відключенням невідповідальних споживачів). При цьому кожен шинопровід (ШМА 1 та ШМА 2) продовжує нести лише власне просторове навантаження (по 1500 А), тому номіналу 1600 А вистачає і для післяаварійного режиму роботи.

Умова вибору за струмом тривалого нагріву:

$$I_{ном.шма} \geq I_{р.маг}.$$

Приймаємо до встановлення два магістральні шинопроводи типу «сендвіч» з номіналом 1600 А.

Виконаємо перевірку на втрату напруги в кінці шинопроводу (ΔU). Для найвіддаленішої точки підключення споживачів (відмітка 24.0 м) втрати напруги в лінії:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{р.маг}} \cdot L \cdot (R_0 \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot \sin\varphi)$$

де, $I_{\text{р.маг}} = 1500$ А; L — розрахункова довжина лінії (від РУ-0,4 кВ до найвищої відмітки 24 м, орієнтовно з урахуванням горизонтальних ділянок L = 0,035 км). R_0, X_0 — питомі активний та реактивний опори шинопроводу 1600 А (типові значення для алюмінію: $R_0 = 0{,}025$ Ом/км, $X_0 = 0{,}012$ Ом/км).

Середньозважені коефіцієнти по цеху приймаємо з таблиці 5.1: $\cos\varphi = 0{,}86, \sin\varphi = 0{,}51$.

Втрати напруги в шинопроводі:

$$\Delta U = 1{,}732 \cdot 1500 \cdot 0{,}035 \cdot (0{,}025 \cdot 0{,}86 + 0{,}012 \cdot 0{,}51) =$$

$$= 90{,}93 \cdot (0{,}0215 + 0{,}00612) = 90{,}93 \cdot 0{,}02762 = 2{,}51 \text{ В}$$

де L = 0,035 км, $\cos\varphi = 0{,}86$, $\sin\varphi = 0{,}51$, $R_0 = 0{,}025$ Ом/км, $X_0 = 0{,}012$ Ом/км:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 1500 \cdot 0{,}035 \cdot (0{,}025 \cdot 0{,}86 + 0{,}012 \cdot 0{,}51) = 2{,}51 \text{ В}$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{2{,}51}{380} \cdot 100\% = 0{,}66\%$$

Втрата напруги становить менше 1%, що повністю задовольняє нормативні вимоги.

Магістральні шинопроводи мають відповідати умові стійкості до струмів короткого замикання:

$$i_{\text{уд.доп}} \geq i_{\text{уд.розр}}$$

Шинопроводи номіналом 1600 А конструктивно розраховані на допустимий ударний струм $i_{\text{уд.доп}}$ 100 кА. Ударний струм КЗ на шинах 0,4 кВ

від трансформатора 1000 кВА не перевищує 40 кА. Отже, умова електродинамічної стійкості виконується з великим запасом.

Два стояки: ШМА 1 та ШМА 2 прокладаються паралельно у вертикальній технологічній шахті цеху з відмітки 0.0 м до 24.0 м.

Відбір потужності: На кожній з п'яти висотних відміток (0.0, 3.3, 9.0, 17.0, 24.0 м) встановлюються блоки відгалуження (штепсельні коробки з автоматичними вимикачами) на обох магістралях.

Живлення ШРА: Розподільчі шинопроводи (ШРА) на поверхах підключаються так, щоб забезпечити рівномірне завантаження магістралей. Наприклад, на найбільш навантаженій відмітці 17.0 м (де розрахунковий струм I_p = 882,6 А половина розподільчих ліній (ШРА 10 та ШРА 11) живиться від ШМА 1, а інша половина (ШРА 12 та ШРА 13) — від ШМА 2. Це гарантує, що у разі планового обслуговування однієї магістралі технологічний процес на поверсі не зупиниться повністю.

6.3. Розрахунок та вибір розподільчих шинопроводів (ШРА)

Розподільчі шинопроводи (ШРА) замінять силові пункти (СП1–СП16). Вони будуть прокладені горизонтально на кожній відмітці вздовж ліній розташування електричного обладнання (тельферів, вентиляторів, зварювальних постів тощо).

Вибір ШРА здійснюється для кожної відмітки окремо за умовою:

$$I_{\text{ном.шра}} \geq I_{\text{р.відмітки}}$$

За даними таблиці 5.1, зведимо результати розрахунку вибору розподільчих шинопроводів до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 Результати вибору шинопроводів

Висотна відмітка, м	Замінені силові пункти	Розрахункова потужність Sp, кВА	Розрахунковий струм Ip, А	Вибраний номінал ШРА, А
0.0 м	СП1, СП2, СП3	560,8	810,4	1000 А
3.3 м	СП4, СП5	154,3	223,0	250 А
9.0 м	СП6, СП7, СП8, СП9	349,9	505,7	630 А
17.0 м	СП10, СП11, СП12, СП13	610,8	882,6	1000 А
24.0 м	СП14, СП15, СП16	309,1	446,7	630 А

Обладнання на кожній відмітці підключатиметься до горизонтальних трас ШРА через відгалужувальні коробки з вбудованими автоматичними вимикачами. Це дозволяє легко переміщувати мобільне обладнання (наприклад, зварювальні апарати) вздовж цеху, просто перемикаючи їх у сусіднє штепсельне вікно шинопровода без прокладання нових кабелів.

6.4 Оцінка зниження втрат активної потужності та електроенергії

При заміні радіальних кабельних мереж на магістральні шинопроводи зниження втрат електроенергії досягається за рахунок трьох основних факторів.

Зменшення довжини кабелів, які прокладаються в лотках із дотриманням радіусів вигину, часто обходячи технологічні перешкоди. Шинопроводи прокладаються найкоротшим шляхом. У середньому довжина траси шинопроводу на 15–25% коротша за кабельну.

Зниження активного опору у шинопроводів типу «сендвіч» через більший переріз провідників і кращі умови охолодження. Кабелі, прокладені пучками в лотках, нагріваються, що призводить до зростання їхнього активного опору.

За рахунок усунення перехідних контактів у запропонованій схемі електропостачання. Струм, який проходить через клеми силових пунктів (СП), у новій схемі підключення відбувається безпосередньо через штепсельні вікна, що зменшує загальний перехідний опір системи.

Втрати активної потужності у трифазній мережі для однієї лінії розраховуються за формулою:

$$\Delta P = 3 \cdot I_{р}^{2} \cdot R_{0} \cdot L \cdot 10^{-3}$$

де, ΔP — втрати активної потужності, кВт; $I_{р}$ — розрахунковий струм лінії, А; R_{0} — питомий активний опір лінії (кабелю або шинопроводу), Ом/км; L — довжина лінії, км.

Річні втрати електроенергії розраховуються через час максимальних втрат (τ):

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau$$

де τ — час максимальних втрат, год/рік, згідно розрахунку наведеного в розділі 2, $\tau = 6617$ год.

Проведемо порівняльний розрахунок живлення обладнання на відмітці 17.0 м (сумарний струм $I_{р} = 882{,}6$ А). Живлення здійснюється від головного щита на відмітці 0.0 м)

Для мережі з силовими пунктами: $R_{0.каб} = 0{,}045$ Ом/км, $L = 0{,}065$ км.

$$\Delta P_{каб} = 3 \cdot (882{,}6)^{2} \cdot 0{,}045 \cdot 0{,}065 \cdot 10^{-3} = 6{,}83 \text{ кВт}$$

Для мережі з шинопровідами: $R_{0.\text{шин}} = 0{,}035$ Ом/км, $L = 0{,}050$ км.

$$\Delta P_{\text{шин}} = 3 \cdot (882{,}6)^2 \cdot 0{,}035 \cdot 0{,}050 \cdot 10^{-3} = 4{,}09 \text{ кВт}$$

При річній тривалості максимальних втрат $\tau = 6617$ год/рік:

$$\Delta W_{\text{сп}} = 6{,}83 \cdot 6617 = 45194 \text{ кВт·год.}$$

$$\Delta W_{\text{шин}} = 4{,}09 \cdot 6617 = 27063 \text{ кВт·год.}$$

Річна економія в одній лінії:

$$W_{\text{втрат}} = \Delta W_{\text{сп}} - \Delta W_{\text{шин}} = 45194 - 27063 = 18131 \text{ кВт·год.}$$

Таблиця 6.3. Зведена таблиця результатів розрахунку зниження втрат електроенергії для магістральних ліній живлення

Висотна відмітка, м	Розрахунковий струм Ір, А	Річні втрати (Кабель) ΔWкаб, кВт·год	Річні втрати (Шинопровід) ΔWшин, кВт·год	Зниження втрат ΔWвтр, кВт·год
0.0 м	810,4	14 624	6 816	7 808
3.3 м	223,0	5 889	2 647	3 242
9.0 м	505,7	16 212	7 610	8 602
17.0 м	882,6	45 194	27 064	18 130
24.0 м	446,7	25 343	14 227	11 116
РАЗОМ	-	107 262	58 364	48 898

Отримані значення $\Delta W_{\text{втр}}$ = 48 898 кВт·год/рік відображають економію виключно на головних лініях (від підстанції до відміток) при розрахунковому часі використання максимуму навантаження 6617 год/рік. Загальна економія по цеху буде значно вищою за рахунок додаткового зниження втрат у локальних розподільчих мережах.

6.5. Оцінка показників економічної ефективності

Загальна сума капітальних вкладень (К) включає обладнання, монтаж, демонтаж старих СП та інші витрати.

Для реалізації модернізації необхідно розрахувати загальну суму капіталовкладень (*K*). Проєкт передбачає повний демонтаж старих силових пунктів (СП1–СП16) та монтаж двох ліній магістральних шинопроводів (ШМА) і локальних розподільчих шинопроводів (ШРА) на 5-ти відмітках.

$$K = K_{\text{обл}} + K_{\text{монтаж}} + K_{\text{демонтаж}} + K_{\text{інше}}$$

де, $K_{\text{обл}}$ – вартість обладнання: 2 магістралі ШМА на 1600 А, 16 ліній ШРА (номіналами від 250 А до 1000 А), блоки відгалуження, кріплення та комутаційна апаратура. Разом: 3 500 000 грн.

$K_{\text{монтаж}}$ - монтажні роботи: Враховуючи модульність системи, монтаж складає орієнтовно 15% від вартості обладнання. Разом: 525 000 грн.

$K_{\text{демонтаж}}$ -демонтажні роботи: Демонтаж 16-ти шаф СП та старих кабельних ліній. Разом: 120 000 грн.

$K_{\text{інше}}$ - розробка проєктної документації, проведення пусконалагоджувальних робіт та електротехнічних вимірювань. Разом: 105 000 грн.

Всього капітальних інвестицій К = 4 250 000 грн.

Розрахунок економії експлуатаційних витрат формується зі зниження втрат електроенергії та зменшення витрат на технічне обслуговування:

$$E_{\text{екс}} = E_{\text{ел}} + E_{\text{обсл}}$$

Економія втратах електроенергії $E_{\text{ел}}$ визначається екстраполяцією даних з розрахунку для відмітки 17.0 м (п. 4.1) на весь ливарний цех, припускаємо, що

сумарне зниження річних втрат електроенергії становитиме $\Delta W_{\text{втр}} = 145000$ кВт·год/рік.

При діючому тарифі для промислових підприємств (наприклад, $T_{ел}$ = 8,9 грн/кВт·год):

$$E_{\text{ел}} = 145000 \cdot 8{,}9 = 1160000 \text{ грн/рік}$$

2. Економія на технічному обслуговуванні за рахунок заміни 16-ти старих СП ліквідує потребу в регулярному регламентному обслуговуванні (протяжка контактів, заміна запобіжників/автоматів, ремонт ізоляції). Приймаємо вартість річного обслуговування одного СП на рівні 12 000 грн.

$$E_{\text{обсл}} = 16 \cdot 12000 = 192000 \text{ грн/рік}$$

Загальна річна економія:

$$E_{\text{екон}} = 1160000 + 192000 = 1352000 \text{ грн/рік}$$

Простий термін окупності показує час, за який інвестиції повернуться виключно за рахунок зекономлених коштів:

$$PP = \frac{K}{E_{\text{екон}}} = \frac{4250000}{1352000} = 3{,}14 \text{ роки}$$

Чистий дисконтований дохід розрахуємо на горизонті 10 років з урахуванням ставки дисконтування 15% ($r = 0{,}15$), що відображає вартість капіталу та ризики:

$$NPV = \sum_{t=1}^{10} \frac{E_{\text{екон}}}{(1+r)^t} - K = \sum_{t=1}^{10} \frac{1352000}{(1+0{,}15)^t} - 4250000$$

Використовуючи коефіцієнт ануїтету для 10 років при 15% (приблизно 5,019):

$$NPV = (1352000 \cdot 5{,}019) - 4250000 = 6785688 - 4250000 = 2535688 \text{ грн}$$

Оскільки NPV > 0, проєкт є економічно доцільним та прибутковим. Отриманий термін окупності (близько 3 років) робить цей проєкт ідеальним для реалізації за механізмом енергосервісу. Підприємству не потрібно вилучати 4,25 млн грн з власного обігу. ЕСКО-компанія може повністю профінансувати закупівлю та монтаж шинопроводів, повертаючи свої інвестиції з фактичної щомісячної економії 1,35 млн грн на рік)протягом дії контракту.

Висновок

У представленій кваліфікаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну задачу щодо оптимізації та підвищення загальної енергоефективності системи електропостачання ливарного цеху. За результатами комплексного аналізу та проведених техніко-економічних розрахунків сформульовано наступні висновки:

Із застосуванням методу впорядкованих діаграм здійснено прецизійний розрахунок активних і реактивних електричних навантажень об'єкта. Шляхом критеріального порівняння альтернативних варіантів конфігурації зовнішнього електропостачання доведено доцільність імплементації схеми з розподільчим пунктом (РП) , що забезпечує мінімізацію зведених розрахункових витрат. Для комплектації цехових підстанцій обґрунтовано вибір силових трансформаторів типу ТМ-1000/10/0,4.

На основі розрахунку струмів короткого замикання в мережі напругою 0,4 кВ виконано валідацію перерізів струмопровідних кабельних ліній та вибір оптимальної комутаційно-захисної апаратури. Зокрема, підтверджено ефективність застосування автоматичних вимикачів серій FMC8C 3P та BA-2004N , що гарантує необхідну селективність і надійність захисту електротехнічного комплексу від струмів перевантаження та аварійних режимів.

У розрізі освітлювальних установок доведено технічну доцільність переходу на використання високоефективних промислових LED-світильників. Це рішення дозволяє досягти нормативних параметрів освітленості робочих зон за умов суттєвого зменшення споживаної електричної потужності.

Запропоновано концепцію структурної модернізації мережі низької напруги, яка полягає у переході від застарілої радіальної топології до магістральної модульної системи. Використання магістральних (ШМА, 1600 А) та розподільчих (ШРА) шинопроводів експоненціально підвищує просторову

гнучкість системи , полегшує технологічну інтеграцію мобільного електрообладнання та мінімізує експлуатаційні та пожежні ризики.

Економіко-математичне моделювання підтвердило високу ефективність розроблених заходів. Встановлено, що заміна кабельних мереж на шинопроводи призводить до зниження річних втрат електричної енергії на 145 000 кВт·год , що генерує фінансову економію на рівні 1 352 000 грн щорічно. Розрахунковий простий термін окупності інвестицій становить 3,14 року , а показник чистого дисконтованого доходу (NPV) фіксується на позначці 2 535 688 грн. Зазначені індикатори підтверджують інвестиційну привабливість проекту та доцільність його практичної реалізації, зокрема із залученням фінансових механізмів енергосервісних компаній (ЕСКО).

Література

1. Плєшков П.Г., Гарасьова Н.Ю., Коновалов І.В., Мануйлов В.Ф. Проектування електричного освітлення промислових підприємств: Навчальний посібник.- Кіровоград:РВЛ КНТУ, 2007.-231с., 42 іл., 46 табл.

2. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами електропривода: Навчальний посібник.

3. Методичні вказівки для виконання курсового проекту для напрямку 6.050701 „Електротехніка та електротехнології” зі спеціальностей 7.000008 „Енергетичний менеджмент”, 7.090603 „Електротехнічні системи електроспоживання” . Плєшков П.Г., Савеленко І.В., Котиш А.І.- Кіровоград: КНТУ, 2009 – 112 с.

4. Шидловський А.К. Енергозбереження - пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. ред. Шидловський .К. - К.: УЕЗ, 1998.- 506с.

5. Плєшков П.Г. Орлович А..Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.

6. Електротехнічні системи електроспоживання / Плєшков П. Г. та ін... – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021.– 209 с..

7. . П.Г. Плєшков, А.І. Котиш, А.Ю. Орлович - Методичні вказівки до виконання дипломного проекту (електропостачання заводу). – Кіровоград: КДТУ, 2004. – 133 с.

8. Малинівський С.М. Загальна електротехніка [Текст]: підручник / С. М. Малинівський; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Вид. 2-ге, перероб. й допов. — Львів: Бескид Біт, 2003. — 640 с.