

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  
\_\_\_\_\_ Петро ПЛІШКОВ

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ**

**ВИЩОЇ ОСВІТИ**

на тему:

**«Проектування електротехнічної системи електроспоживання підприємства сільськогосподарського машинобудування»**

Виконав здобувач вищої освіти  
IV курсу, групи ЕЕ-21,  
ОПП «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
\_\_\_\_\_ Богдан ШИШАТСЬКИЙ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи  
проф., канд. техн. наук  
\_\_\_\_\_ Анатолій ОРЛОВИЧ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

\_\_\_\_\_ Петро Плешков

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА  
ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Шишатського Богдана Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Проектування електротехнічної системи електро-  
споживання підприємства сільськогосподарського машинобудування.

Design of an electrical system for power consumption of an agricultural machinery  
manufacturing enterprise »

2. Керівник роботи (проекту) Орлович Анатолій Юхимович, к.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 16.06.2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: розроблення електротехнічної  
системи електроспоживання підприємства сільськогосподарського машино-  
будування згідно сучасних вимог надійності та економічності.

1. Вступ. 2. Електричні навантаження. 3. Картограма електричних  
навантажень. 4. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та  
внутрішнього електропостачання. 5. Компенсація реактивної потужності.  
6. Трансформаторні підстанції. 7. Розрахунок струмів КЗ і вибір обладнання.  
8. Спеціальний розділ. 9. Висновки. 10. Перелік посилань.

5. Консультанти розділів роботи (проекту)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>доцент Н. Ю. Гарасьова</i>		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи (проекту)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>5.03.25</i>	
2	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>21.03.25</i>	
3	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>28.03.25</i>	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем ел. пост.</i>	<i>7.04.25</i>	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>14.04.25</i>	
6	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>21.04.25</i>	
7	<i>Розрахунок струмів КЗ і вибір обладнання</i>	<i>5.05.25</i>	
8	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>16.05.25</i>	
9	<i>Висновки</i>	<i>19.05.25</i>	
10	<i>Складання переліку бібліографічних посилань</i>	<i>20.05.25</i>	
11	<i>Оформлення пояснювальної записки роботи</i>	<i>26.05.25</i>	
12	<i>Оформлення слайдів (графічна частина роботи)</i>	<i>2.06.25</i>	

Дата видачі завдання

« 3 » « лютого » 2025 року

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Анатолій ОРЛОВИЧ

Задання прийнято до виконання

« 3 » « лютого » 2025 року

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ Богдан ШИШАТСЬКИЙ

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: загальний обсяг 96 с., 8 рис.; 32 табл.; 11 джерел; 2 додатки на 14 с.

**Шишатський Б. В. Проектування електротехнічної системи електро-споживання підприємства сільськогосподарського машинобудування. – Рукопис.**

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

Кваліфікаційна робота присвячена розв'язанню комплексної інженерної задачі: проектуванню надійної, ефективної та економічно обґрунтованої системи електропостачання промислового підприємства. Мета роботи полягає у розробці комплексу проектних рішень, від вибору схеми приєднання до проектування внутрішньоцехових мереж.

Для досягнення поставленої мети було виконано аналіз електричних навантажень, розраховано добові та річні графіки споживання, а також проведено техніко-економічне порівняння альтернативних варіантів зовнішнього електропостачання. Крім того, на основі розрахунків струмів короткого замикання та аналізу балансу реактивної потужності здійснено обґрунтований вибір основного електротехнічного обладнання.

Спеціальний розділ присвячений детальній розробці силової та освітлювальної електромережі ремонтно-механічного цеху. Для цього підрозділу було обрано радіальну схему розподілу енергії, реалізовану на базі силових пунктів серії ПР-8500. Для захисту ліній, що відходять, застосовано автоматичні вимикачі серії АЕ20. Живлення кінцевих споживачів передбачено проводами марки АПВ та кабелями марки АПВБг, перерізи яких обґрунтовані розрахунковими навантаженнями.

**Ключові слова:** електричне навантаження, режими реактивної потужності, схема приєднання, струм КЗ, електрообладнання

## ABSTRACT

Qualification work: total volume 96 p.; 8 fig.; 32 tables; 11 sources; 2 additions on 14 p.

**Shyshatskyi B. V. Design of an electrical system for power consumption of an agricultural machinery manufacturing enterprise. – Manuscript.**

Bachelor's thesis in the speciality 141 'Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics', OPP 'Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics.' - Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The qualification work is devoted to solving a complex engineering problem: designing a reliable, efficient and economically feasible power supply system for an industrial enterprise. The aim of the work is to develop a set of design solutions, from choosing a connection scheme to designing intra-shop networks.

To achieve this goal, we analysed the electrical loads, calculated daily and annual consumption schedules, and conducted a feasibility study of alternative options for external power supply. In addition, based on calculations of short-circuit currents and analysis of the reactive power balance, a reasonable selection of the main electrical equipment was made.

A special section is devoted to the detailed development of the power and lighting network of the mechanical repair shop. For this subdivision, a radial power distribution scheme was chosen, implemented on the basis of PR-8500 series power stations. AE20 series circuit breakers were used to protect the outgoing lines. Power supply to end consumers is provided by APV wires and APVBg cables, the cross-sections of which are justified by the design loads.

**Keywords:** electrical load, reactive power modes, connection diagram, short-circuit current, electrical equipment

## ЗМІСТ

	стр.
<b>ВСТУП .....</b>	<b>8</b>
<b>1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....</b>	<b>9</b>
1.1. Силові електричні навантаження у електричних мережах до 1000 В...	9
1.2. Освітлювальні електричні навантаження.....	13
1.3. Електричні навантаження в мережі вище 1000 В.....	15
1.4. Графіки електричних навантажень.....	23
<b>2. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....</b>	<b>30</b>
<b>3. ВИБІР СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРО- ПОСТАЧАННЯ.....</b>	<b>32</b>
3.1. Вибір напруги і схеми приєднання.....	32
3.2. Обґрунтування схеми внутрішнього розподілу електроенергії .....	40
<b>4. РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....</b>	<b>42</b>
4.1. Аналіз балансу реактивної потужності та вибір засобів компенсації..	42
4.2. Вибір кількості, потужності та місця встановлення ПКРП .....	43
<b>5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ.....</b>	<b>45</b>
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів ГЗП.....	45
5.2. Вибір кількості, потужності трансформаторів і місця розташування ЦТП .....	45
<b>6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ.....</b>	<b>49</b>
6.1. Розрахунок струмів КЗ.....	49
6.2. Вибір кабельних ліній.....	56
6.3. Вибір силового високовольтного електрообладнання.....	58
6.4 Вибір вимірювальних трансформаторів.....	61

					<b>КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Шишатський Б. В			«Проектування електротехнічної системи електроспоживання підприємства сільсько- господарського машинобудування. Design of an electrical system for power consumption of an agricultural machinery manufacturing enterprise»	<i>Літера</i>	<i>Стор.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Орлович А. Ю.				Д	6	96
<i>Н.контр.</i>					<b>ЦНТУ гр. ЕЕ-21</b>			
<i>Затв.</i>		Плешков П. Г.						



## ВСТУП

Сучасні машинобудівні підприємства характеризуються високою концентрацією потужних та різноманітних споживачів електроенергії. Основу їхнього навантаження складають електроприводи металорізальних верстатів, пресів, компресорів та підйомно-транспортних механізмів, а також складні електротехнологічні установки – електрозварювальні, термічні та електролізні. Система, що забезпечує передачу та розподіл такої значної кількості електроенергії, повинна відповідати сучасним стандартам надійності та енергоефективності, бути надійною та гнучкою для подальшого розвитку. Тому метою даної кваліфікаційної роботи є комплексне проектування такої системи для заводу сільськогосподарських машин. В умовах постійного зростання вартості енергоресурсів, задача раціонального проектування набуває особливої актуальності, оскільки саме на цьому етапі закладаються основи для майбутньої економічної ефективності підприємства.

Об'єктом проектування є завод із повним технологічним циклом «сировина – готовий виріб», що розташований на промисловій площі 135,4 тис. м<sup>2</sup>. Виробничі цехи (заготівельно-пресовий, механозбиральні, інструментальний та ін.) розміщуються як в одноповерхових, так і в багатоповерхових спорудах. Головним навантаженням є металообробні верстати з ЧПК, автоматизовані поточні лінії, зварювальні напівавтомати та інше допоміжне обладнання. Завод працює у двозмінному режимі з двома вихідними днями. Згідно з вимогами до надійності електропостачання, 8% електроприймачів підприємства належать до I-ї категорії надійності, 84% – до II-ї, та 8% – до III-ї.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні ключові завдання: точний розрахунок електричних навантажень і побудова графіків споживання, вибір оптимальної схеми приєднання до енергосистеми, розробка внутрішньої розподільної мережі, а також раціональний вибір потужності трансформаторів і джерел компенсації реактивної потужності.

Джерелом живлення заводу може бути ПС «Енергосистема» 35/10 кВ. Приєднання може бути здійснено за допомогою КЛ довжиною 3 км, відповідного класу напруги. Струм КЗ на шинах 35 ПС «Енергосистема» складає 6,8 кА.

У наступних розділах роботи послідовно представлено етапи розрахунків і обґрунтування прийнятих рішень.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					8

# 1 ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

## 1.1 Силові електричні навантаження в мережах до 1000 В

Визначення силових електричних навантажень для всіх підрозділів підприємства виконано за методом упорядкованих діаграм [2-4], що був програмно реалізований у середовищі MS Excel.

Для метизного цеху приводимо його детально.

Середньозмінне навантаження групи автоматичних металообробних верстатів метизного цеху за найбільш завантажену зміну:

- активне

$$P_{\text{сзм.мв}} = k_{\text{в}} \sum_i^n P_{\text{ном}_i} = 0,17 \cdot 1350 = 229,5 \text{ кВт},$$

де  $P_{\text{ном}_i}$  – номінальна потужність  $i$ -го металообробного верстату в групі, кВт;

$k_{\text{в}}$  – коефіцієнт використання;

- реактивне

$$Q_{\text{сзм.мв}} = \text{tg}\varphi \cdot P_{\text{сзм.мв}} = 1,17 \cdot 229,5 = 268,3 \text{ квар},$$

$\text{tg}\varphi$  – коефіцієнт потужності, що характерний для групи металообробних верстатів.

Середньозмінне навантаження метизного цеху за найбільш завантажену зміну:

- активне

$$P_{\text{сзм.мц}} = \sum_i^n P_{\text{сзм.и}} = 229,5 + 434,0 + 8,2 + 2,8 + 1185,0 + 96,6 + 87,4 + 79,7 + \\ + 12,2 + 92,5 = 2227,7 \text{ кВт},$$

- реактивне

$$Q_{\text{сзм.мц}} = \sum_i^n Q_{\text{сзм.и}} = 268,3 + 325,5 + 14,2 + 4,8 + 734,4 + 112,9 + 102,1 + 93,2 + \\ + 15,4 + 108,1 = 1778,9 \text{ квар},$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		9

де  $P_{сзм.i}$ ,  $Q_{сзм.i}$  – середньозмінне, відповідно, активне та реактивне навантаження  $i$ -ї групи електроприймачів метизного цеху.

Розрахункове активне навантаження метизного цеху

$$P_p = k_M \cdot P_{сзм.мц} = 1,05 \cdot 2227,7 = 2343 \text{ кВт},$$

де  $k_M$  – коефіцієнт максимуму активної потужності:

$$k_M = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot k_B^2 - 12,7 \cdot k_B + 8,235}{(k_B + 0,05) \cdot n_{еф}^{(1,04-0,4 \cdot k_B)}}} = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot 0,363^2 - 12,7 \cdot 0,363 + 8,235}{(0,363 + 0,05) \cdot 164^{(1,04-0,4 \cdot 0,363)}}} = 1,05$$

$k_B$  – груповий коефіцієнт використання

$$k_B = \frac{\sum_1^n P_{сзм.i}}{\sum_1^n P_{ном.i}} = 2227,7 / 6140,0 = 0,363,$$

$P_{ном.i}$  – встановлена потужність  $i$ -го споживача метизного цеху кВт.

Відношення

$$m = P_{маж.ном} / P_{мін.ном} = 75,0 / 0,6 > 3,$$

де  $P_{маж.ном}$ ,  $P_{мін.ном}$  – встановлена номінальна потужність споживачів, відповідно, найбільш та найменш потужного.

Ефективне число електроприймачів метизного цеху за умови, що  $m \geq 3$ , а  $k_B > 0,2$ :

$$n_{еф} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ном.i}}{P_{н.маж}} = \frac{2 \cdot 6140,0}{75,0} = 164 \text{ шт.},$$

Розрахункове реактивне навантаження за умови, що  $n_{еф} > 10$ ;

$$Q_p = Q_{сзм} = 1778,9 \text{ квар},$$

Повна розрахункова потужність метизного цеху:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{2343,0^2 + 1778,9^2} = 2941,8 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Методика та результати розрахунку силових електронавантажень для інших цехів заводу в мережах до 1000 В та по заводу в цілому аналогічні та виконані у вигляді табл. 1.1.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		10

Таблиця 1.1 - Розрахунок електричних навантажень у мережі 0,4 кВ заводу сільськогосподарських машин

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кільк. ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	k <sub>в</sub>	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну		n <sub>ε</sub>	k <sub>м</sub>	Розрахункова потужність,		
			одного	сумарна					P <sub>ср</sub> , кВт	Q <sub>ср</sub> , квар			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	<b>Метизний цех</b>														
	Автоматичні м/о верстати	120	7,1 - 22,0	1350,0		0,17	0,65	1,17	229,5	268,3					
	Вентилятори	30	2,2 - 30,0	620,0		0,7	0,80	0,75	434,0	325,5					
	Кран-балка ТВ=40%	25	0,6 - 7,5	82,0		0,1	0,50	1,73	8,2	14,2					
	Ліфти ТВ=25%	2	27,5	55,0		0,05	0,50	1,73	2,8	4,8					
	Печі опору	32	25 - 75,0	1975,0		0,6	0,85	0,62	1185,0	734,4					
	Прес	48	5,5 - 16,0	568,0		0,17	0,65	1,17	96,6	112,9					
	Різьбонарізний верстат	38	7,1 - 17,0	546,0		0,16	0,65	1,17	87,4	102,1					
	Токарний верстат з ЧПК	62	10 - 12,5	498,0		0,16	0,65	1,17	79,7	93,2					
	Точильно-шліфувальний верстат	22	2,1 - 4,6	76,0		0,16	0,62	1,27	12,2	15,4					
	Шліфувальні верстати	38	2,2 - 11,3	370,0		0,25	0,65	1,17	92,5	108,1					
	Всього	417	0,6 - 75,0	6140,0	125	0,36	0,78	0,80	2227,7	1778,9	164	1,05	2343,0	1778,9	2941,8
2	<b>Механоскладальний цех №1</b>	308	1,1 - 80,0	2242,4	73	0,21	0,68	1,08	471,0	506,4	56	1,21	571,5	506,4	763,6
3	<b>Інструментальний цех</b>	251	0,6 - 75,0	1835,0	125	0,29	0,65	1,18	527,3	620,9	49	1,18	624,1	620,9	880,3
4	<b>Цех пластмас</b>	110	3,4 - 69,1	3077,7	20	0,38	0,68	1,08	1161,0	1258,2	89	1,08	1259,1	1258,2	1780,0
5	<b>Механоскладальний цех №2</b>	561	0,6 - 100,0	9025,4	167	0,19	0,67	1,12	1685,1	1887,0	181	1,08	1821,3	1887,0	2622,6
6	<b>Побутові приміщення МСЦ-2</b>	36	0,5 - 5,0	58,4	10	0,62	0,95	0,33	36,3	11,9	23	1,12	40,6	11,9	42,3
7	<b>Їдальня</b>	51	0,6 - 41,0	409,0	75	0,63	0,94	0,35	256,2	90,4	20	1,13	289,7	90,4	303,5
8	<b>Склад №1</b>	18	3,0 - 7,5	86,5	3	0,53	0,79	0,78	46,0	35,8	18	1,20	54,9	35,8	65,6
9	<b>Матеріальний склад</b>	9	3,0 - 7,5	42,0	3	0,49	0,78	0,81	20,7	16,7	9	1,37	28,4	18,4	33,8
10	<b>Склад №2</b>	21	3,0 - 7,5	94	3	0,51	0,79	0,78	47,75	37,396	21	1,19	56,689	37,396	67,912
11	<b>Ремонтно механічний цех</b>	66	0,6 - 22,0	603,6	37	0,24	0,61	1,28	145,4	186,6	55	1,19	173,6	186,6	254,9
12	<b>Блок складів</b>	45	0,6 - 22,0	307,5	37	0,59	0,74	0,91	180,1	163,7	28	1,12	201,1	163,7	259,3
13	<b>Компресорна станція</b>	12	1,1 - 15,0	79,0	14	0,54	0,78	0,80	42,6	34,1	11	1,28	54,3	34,1	64,1
14	<b>Вуглекислотна станція</b>	12	10,0 - 30,0	195,0	3	0,69	0,86	0,59	134,3	79,7	12	1,15	154,2	79,7	173,6
15	<b>Склад готової продукції</b>	26	1,1 - 22,0	141,6	20	0,60	0,79	0,77	85,1	65,6	13	1,20	101,9	65,6	121,2

Продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
16	Загівельно-пресовий цех	287	1,6 - 130,0	4109,0	81	0,21	0,68	1,07	858,8	919,4	63	1,19	1024,7	919,4	1376,7
17	Склад мегала	5	1,1 - 70,0	218,8	64	0,05	0,50	1,73	10,9	18,9	5	3,97	43,4	20,8	48,1
18	Механозбральний цех №3	187	0,6 - 75,0	2757,0	125	0,29	0,40	2,27	795,2	1808,5	74	1,13	897,1	1808,5	2018,8
19	Побутові приміщення ЗПЦ	49	0,1 - 15,0	126,1	150	0,63	0,92	0,41	80,0	33,0	17	1,14	91,4	33,0	97,2
20	Лабораторний корпус №1	138	0,1 - 15,0	235,0	150	0,60	0,89	0,52	141,5	74,0	31	1,10	155,9	74,0	172,6
21	Лабораторний корпус №2	113	0,1 - 15,0	226,5	150	0,59	0,89	0,52	133,3	69,6	30	1,11	147,9	69,6	163,5
<b>Всього по заводу на шинях 0,4 кВ</b>		<b>2722</b>	<b>0,1 - 130,0</b>	<b>32009,5</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,28</b>	<b>0,68</b>	<b>1,07</b>	<b>9086,1</b>	<b>9696,8</b>	<b>492</b>	<b>1,02</b>	<b>9301,0</b>	<b>9696,8</b>	<b>13436,4</b>

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата
-----	------	----------	---------	------

## 1.2 Освітлювальні електричні навантаження

Освітлювальні навантаження окремих підрозділів заводу визначаємо за питомою потужністю освітлення на 1 м<sup>2</sup> корисної площі приміщення [2-6]. Виконаємо детальний розрахунок для механозбирального цеху №1.

Активна розрахункова потужність:

$$P_{p.oc} = n \cdot k_{\Pi} \cdot k_1 \cdot p_0 \cdot F = 1 \cdot 0,85 \cdot 1,12 \cdot 17,0 \cdot 6960 \cdot 10^{-3} = 112,6 \text{ кВт};$$

де  $n$  – кількість поверхів, що займає цех;

$k_{\Pi}$  – коефіцієнт попиту на освітлювальне навантаження;

$k_1$  – коефіцієнт запасу, враховує втрати електроенергії в ПРА світильників з дуговими ртутними лампами (ДРЛ);

$p_0$  – питома потужність освітлення, кВт/м<sup>2</sup>;

$F$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>.

Реактивна розрахункова потужність:

$$Q_{p.oc} = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 112,6 \cdot 1,73 = 195,1 \text{ квар};$$

де  $\operatorname{tg}\varphi$  – коефіцієнт потужності для світильників з лампами типу ДРЛ,  $\operatorname{tg}\varphi = 1,73$ .

Повна розрахункова потужність

$$S_{p.oc} = \sqrt{P_{p.oc}^2 + Q_{p.oc}^2} = \sqrt{112,6^2 + 195,1^2} = 225,3 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Освітлювальні навантаження для інших цехів та підрозділів заводу сільськогосподарських машин були розраховані аналогічно, результати представлені в табл. 1.2.

Освітлювальне навантаження по підприємству в цілому знаходяться як алгебраїчна сума освітлювальних навантажень окремих цехів.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		13

Таблиця 1.2 – Визначення освітлювальних навантажень

№ п/п	Назва	$n$ , шт	$F$ , $m^2$	$P_0$ , Вт/м	$k_{п}$	$k_l$	$P_{p.оос}$ , кВт	$Q_{p.оос}$ , квар	$S_{p.оос}$ , кВА
1	Метизний цех	2	19548,0	18	0,95	1,12	374,4	648,5	748,8
2	Механозбиральний цех №1	1	6960,0	17	0,85	1,12	112,6	195,1	225,3
3	Інструментальний цех	1	6960,0	17	0,85	1,12	112,6	195,1	225,3
4	Цех пластмас	1	6960,0	18	0,85	1,12	119,3	206,6	238,5
5	Механоскладальний цех №2	1	13224,0	17	0,85	1,12	214,0	370,7	428,0
6	Побутові приміщення МЗЦ №2	4	4960,0	20	0,8	1,2	95,2	46,1	105,8
7	Їдальня	2	3024,0	20	0,8	1,2	58,1	28,1	64,5
8	Склад №1	1	1456,0	6	0,6	1,12	5,9	10,2	11,7
9	Матеріальний склад	1	1008,0	6	0,6	1,12	4,1	7,0	8,1
10	Склад №2	1	1050,0	6	0,6	1,12	4,2	7,3	8,5
11	Ремонтно-механічний цех	1	1344,0	18	0,85	1,12	23,0	39,9	46,1
12	Блок складів	1	4104,0	7	0,6	1,12	19,3	33,4	38,6
13	Компресорна станція	1	672,0	14	0,8	1,12	8,4	14,6	16,9
14	Вуглекислотна станція	1	532,0	14	0,8	1,12	6,7	11,6	13,3
15	Склад готової продукції	1	4290,0	7	0,6	1,12	20,2	35,0	40,4
16	Заготівельно-пресовий цех	1	9894,0	16	0,95	1,12	168,4	291,7	336,9
17	Склад метала	1	4925,0	5	0,6	1,12	16,5	28,7	33,1
18	Механоскладальний цех №3	1	22795,0	16	0,95	1,12	388,1	672,1	776,1
19	Побутові приміщення МЗЦ №3	4	9408,0	18	0,8	1,2	162,6	78,7	180,6
20	Лабораторний корпус №1	9	6120,0	23	0,8	1,2	135,1	65,4	150,1
21	Лабораторний корпус №2	9	6120,0	23	0,8	1,2	135,1	65,4	150,1
	Освітлення території		239170,0	0,3	0,7	1,12	56,3	97,4	112,5
	Всього по заводу		135354,0				2240,2	3148,7	3864

### 1.3 Електричні навантаження у мережі вище 1000 В

Електричні навантаження в мережі вище 1000 В визначено за методом впорядкованих діаграм [2-4]. При цьому розрахунковими осередками навантажень є шини 10 кВ цехових ТП та РУ 10 кВ, тому до розрахунку була визначена сумарна кількість трансформаторних підстанцій по заводу, номінальна потужність їх трансформаторів і місця установки.

Розрахуємо навантаження на шинах 10 кВ ТП-3. З урахуванням вимог до безперебійності електропостачання, попередньо, приймаємо двотрансформаторну підстанцію з трансформаторами ТМГ-1000/10.

Силове середнє навантаження ТП-3 за найбільш завантажену зміну складе:

- активне

$$P_{\text{сзм.ТП-3}} = \sum_i^n P_{\text{сзм.}i} = 471,02 + 527,3 = 998,3 \text{ кВт},$$

- реактивна

$$Q_{\text{сзм.ТП-3}} = \sum_i^n Q_{\text{сзм.}i} = 506,4 + 620,9 = 1127,3 \text{ квар},$$

де  $P_{\text{сзм.}i}$ ,  $Q_{\text{сзм.}i}$  – середньозмінне навантаження  $i$ -го цеху, що отримує живлення від ТП-3, відповідно, активне кВт і реактивне, квар.

Розрахункова потужність споживана силовим навантаженням від шин 0,4 кВ ТП-3:

- активна

$$P_{\text{р.0,4}} = k_M \cdot P_{\text{сзм.ТП-3}} = 1,11 \cdot 998,3 = 1109,1 \text{ кВт},$$

де  $k_M$  – коефіцієнт максимуму активної потужності для споживачів ТП-3:

$$k_M = \sqrt{1 + \frac{4,4k_B^2 - 12,7k_B + 8,235}{(k_B + 0,05) \cdot n_{\text{еф}}^{(1,04-0,4k_B)}}} = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot 0,24^2 - 12,7 \cdot 0,24 + 8,235}{(0,24 + 0,05) \cdot 102^{(1,04-0,4 \cdot 0,24)}}} = 1,11,$$

$k_B$  – груповий коефіцієнт використання для споживачів ТП-3

$$k_B = \frac{\sum_1^n P_{\text{сзм.ТП-3}}}{\sum_1^n P_{\text{ном.}i}} = 998,3 / 4077,4 = 0,24,$$

$P_{\text{ном.}i}$  – встановлена потужність  $i$ -го споживача споживачів механозбирального цеху №1 та інструментального цеху, кВт.

$n_{\text{еф}}$  – ефективне число електроприймачів ТП-3 за умови, що  $m \geq 3$ , а  $k_B > 0,2$ :

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i}}{P_{\text{ном.маx}}} = \frac{2 \cdot 4077,4}{80,0} = 102 \text{ шт.};$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	15

де  $P_{\text{мах.ном}}$  – активна потужність найбільш потужного споживання, що підключений до ТП-3, кВт;

– реактивне за умови, що за умови, що  $n_{\text{сф}} > 10$

$$Q_{\text{р.0,4}} = Q_{\text{сзм.тп-3}} = 1127,3 \text{ квар.}$$

Розрахункове освітлювальне навантаження по ТП-3

– активне

$$P_{\text{ос.тп-3}} = \sum_i^n P_{\text{ос.і}} + P_{\text{ос.тз}} = 112,6 + 112,6 + 56,3 = 281,5 \text{ кВт,}$$

– реактивне

$$Q_{\text{ос.тп-3}} = \sum_i^n Q_{\text{ос.і}} + Q_{\text{ос.тз}} = 195,1 + 195,1 + 97,4 = 1127,3 \text{ квар,}$$

де  $P_{\text{ос.тз}}$ ,  $Q_{\text{ос.тз}}$  – освітлювальне навантаження території заводу, відповідно, активне кВт та реактивне квар;

Розрахункове навантаження на шинах 10 кВ ТП-3:

– активне

$$P_{\text{р.тп-3}} = P_{\text{р.0,4}} + P_{\text{ос.тп-3}} + \Delta P_{\text{т.тп-3}} = 1109,1 + 281,5 + 16,7 = 1407,4 \text{ кВт,}$$

де  $\Delta P_{\text{т.тп-3}}$  – активні втрати потужності в трансформаторах ТП-3, кВт;

$$\Delta P_{\text{т.тп-3}} = n \cdot (\Delta p_{\text{хх}} + \Delta p_{\text{кз}} \cdot k_3^2) = 2 \cdot (2,45 + 12,2 \cdot 0,697^2) = 16,7 \text{ кВт;}$$

де  $n$  – кількість трансформаторів ТП-3;

$\Delta p_{\text{хх}}$ ,  $\Delta p_{\text{кз}}$  – активна паспортна потужність втрат трансформатора, відповідно, холостого ходу та навантажувальних, кВт;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження трансформатора, в.о.;

– реактивне

$$Q_{\text{р.тп-3}} = Q_{\text{р.0,4}} + Q_{\text{ос.тп-3}} + \Delta Q_{\text{т.тп-3}} - Q_{\text{укрп}} = 1109,1 + 281,5 + 81,4 - 1522 = 174,4 \text{ кВт,}$$

де  $\Delta Q_{\text{т.тп-3}}$  – реактивні втрати потужності в трансформаторах ТП-3, квар

$$\Delta Q_{\text{т.тп-3}} = \frac{n \cdot S_{\text{т.ном}}}{100} (i_{\text{хх}} + u_{\text{кз}} k_3^2) = \frac{2 \cdot 1000}{100} (1,4 + 5,5 \cdot 0,697^2) = 81,4 \text{ квар,}$$

$i_{\text{хх}}$  – паспортне значення струму холостого ходу трансформаторів ТП-3, %;

$u_{\text{кз}}$  – паспортне значення напруги короткого замикання трансформаторів ТП-3, %;

$Q_{\text{укрп}}$  – потужність установок компенсації реактивної потужності, що встановлені на ТП-3, квар;

– повне

$$S_{\text{р.тп-3}} = \sqrt{P_{\text{р.тп-3}}^2 + Q_{\text{р.тп-3}}^2} = \sqrt{1407,4^2 + 174,4^2} = 1418,1 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Розрахунок навантажень вище 1 кВ для інших ТП та по заводу сільськогосподарських машин в цілому аналогічний розглянутому і тому виконаний у вигляді табл. 1.3.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	16

Таблиця 1.3. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 10 кВ

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	К-сть ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Kв	cos φ	tg φ	Середнє навантаження за зміну, кВт		пс	Км	Розрахункова потужність		
			Одного	Сумарна					Р <sub>ср</sub>	Q <sub>ср</sub>			Р <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , КВА
1	<b>ТП-1,2 (4x1000 кВА)</b>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	<b>Метизний цех</b>														
	силове	417	0,6 - 75	6140,0	125	0,36	0,78	0,80	2227,7	1778,9	164	1,052	2343,0	1778,9	2941,8
	освітлювальне								351,9	609,4			374,4	648,5	
	Всього								2579,6	2388,3			2717,4	2427,3	3643,7
	Всього по ТП - 1, 2 (4x1000 кВА)														
	силове	417	0,6 - 75	6140,0	125	0,36	0,78	0,80	2227,7	1778,9	164	1,052	2343,0	1778,9	2941,8
	освітлювальне								351,9	609,4			374,4	648,5	
	батареї конденсаторів								2579,6	2388,3			2717,4	553,3	2773,2
	втррати у трансформаторах												33,3	161,7	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-1, 2												2750,7	715,1	2750,7
	<b>ТП-3 (2x1000 кВА)</b>														
2	<b>Механоскладальний цех №3</b>														
	силове	308	1,1 - 80	2242,4	73	0,21	0,681	1,075	471,02	506,4153	56	1,213	571,5332	506,4153	763,614
	освітлювальне								118,3	204,9			112,6	195,1	
	Всього												684,2	701,5	
	<b>Інструментальний цех №112</b>														
	силове	251	0,6 - 75	1835	125	0,29	0,65	1,18	527,3	620,9	49	1,18	624,1	620,9	880,3
	освітлювальне								118,3	204,9			112,6	195,1	
	Всього								645,6	825,8			736,7	816,0	1099,4
	<b>Освітлення території заводу</b>														
	Всього по ТП - 3 (2x1000 кВА)														
	силове	559	0,6 - 80	4077,4	>3	0,24	0,66	1,13	998,3	1127,3	102	1,11	1109,1	1127,3	1581,4
	освітлювальне								308,4	534,1			281,5	487,6	
	батареї конденсаторів													-1522,0	
	втррати у трансформаторах								1306,7	1661,5			1390,6	92,9	1393,7
	Всього на шинах 10 кВ ТП-3 (2x1000)												16,7	28,2	1407,4

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>ТП-4 (2x1000 кВА)</b>														
4	<b>Цех пластмас</b>														
	силове	110	3,4 - 69,1	3077,7	20	0,377	0,678	1,084	1161,0	1258,2	89	1,084	1259,1	1258,2	1780,0
	освітлювальне								125,3	217,0			119,3	206,6	
	Всього								1286,3	1475,2			1378,4	1464,8	2011,3
	Всього по ТП - 4 (2x1000 кВА)														
	силове	110	3,4 - 69,1	3077,7	20	0,38	0,68	1,08	1161,0	1258,2	89	1,084	1259,1	1258,2	1780,0
	освітлювальне								125,3	217,0			119,3	206,6	
	батареї конденсаторів													-1200,0	
	всього								1286,3	1475,2			1378,4	264,8	1403,6
	втррати у трансформаторах												16,9	82,2	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-4 (2x1000)												1395,3	347,0	1395,3
	<b>ТП-5, 6 (4x1000 кВА)</b>														
5	<b>Механоскладальний цех №18</b>														
	силове	561	0,6 - 100	9025,4	167	0,19	0,67	1,12	1685,1	1887,0	181	1,08	1821,3	1887,0	2622,6
	освітлювальне								224,8	389,4			214,0	370,7	
	Всього								1909,9	2276,4			2035,3	2257,7	3039,7
	<b>Побутові приміщення МСЦ-18</b>														
	силове	36	0,5 - 5	58,4	10	0,62	0,95	0,33	36,3	11,9	23	1,12	40,6	11,9	42,3
	освітлювальне								99,2	48,0			95,2	46,1	
	Всього								135,5	59,9			135,8	58,0	147,7
7	<b>Ідальня</b>														
	силове	51	0,55 - 41	409	75	0,63	0,94	0,35	256,2	90,4	20	1,13	289,7	90,4	303,5
	освітлювальне								60,5	29,3			58,1	28,1	
	Всього								316,7	119,7			347,7	118,5	367,4
	Всього по ТП - 5, 6 (4x1000 кВА)														
	силове	648	0,5 - 100	9492,8	>3	0,21	0,71	1,01	1977,6	1989,3	190	1,07	2118,7	1989,3	2906,2
	освітлювальне								384,5	466,7			367,3	444,9	
	батареї конденсаторів													-1340,0	
	всього								2362,0	2456,0			2486,0	1094,2	2716,2
	втррати у трансформаторах												32,3	157,4	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-5, 6												2518,3	1251,7	2518,3

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	<b>ТП-7 (1x1000 кВА)</b> <b>Склад</b>														
	силлове	18	3 - 7,5	86,5	3	0,53	0,79	0,78	46,0	35,8	18	1,20	54,9	35,8	65,6
	освітлювальне								8,7	15,1			5,9	10,2	
	Всього								54,7	50,9			60,8	46,0	76,2
9	<b>Склад №72</b>														
	силлове	9	3 - 7,5	42	3	0,49	0,78	0,81	20,7	16,70	9	1,37	28,4	18,4	33,8
	освітлювальне								6,0	10,5			4,1	7,0	
	Всього								26,7	27,2			32,4	25,4	41,2
10	<b>Склад</b>														
	силлове	21	3 - 7,5	94	3	0,51	0,79	0,78	47,8	37,4	21	1,19	56,7	37,4	67,9
	освітлювальне								6,3	10,9			4,2	7,3	
	Всього								54,1	48,3			60,9	44,7	75,6
11	<b>Ремонтномеханічний цех</b>														
	силлове	66	0,6 - 22	603,6	37	0,24	0,61	1,28	145,4	186,6	55	1,19	173,6	186,6	254,9
	освітлювальне								24,2	41,9			23,0	39,9	
	Всього								169,6	228,5			196,7	226,5	300,0
12	<b>Блок складів</b>														
	силлове	45	0,6 - 22	307,5	37	0,59	0,74	0,91	180,1	163,7	28	1,12	201,1	163,7	259,3
	освітлювальне								28,7	49,8			19,3	33,4	
	Всього								208,8	213,4			220,4	197,1	295,7
13	<b>Компресорна</b>														
	силлове 0,4 кВ	12	1,1 - 15	79	14	0,54	0,78	0,80	42,6	34,1	11	1,28	54,3	34,1	64,1
	освітлювальне								9,4	16,3			8,4	14,6	
	Всього								52,0	50,4			62,8	48,7	79,4
14	<b>Вуглекислотна станція</b>														
	силлове	12	10 - 30	195	3	0,69	0,86	0,59	134,3	79,7	12	1,15	154,2	79,7	173,6
	освітлювальне								7,4	12,9			6,7	11,6	
	Всього								141,7	92,6			160,9	91,2	185,0

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Всього по ТП - 7 (1x1000 кВА)														
	силове	183	0,6 - 30	1407,6	50	0	0,744	0,898	616,8	554,0	94	1,068	659,0	554,0	860,9
	освітлювальне								90,9	157,4			71,6	124,0	
	батареї конденсаторів													-300,0	
	Всього								707,6	711,4			730,6	378,0	822,6
	врати у трансформаторах												10,7	51,2	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-7												741,3	429,2	741,3
	<b>ТП-8 (2x1000 кВА)</b>														
15	<b>Склад готової продукції</b>														
	силове	26	1,1 - 22	141,6	20	0,60	0,79	0,77	85,1	65,6	13	1,20	101,9	65,6	121,2
	освітлювальне								30,0	52,0			20,2	35,0	
	Всього								115,2	117,6			122,1	100,6	158,2
	<b>Загівельнопресовий цех №23</b>														
	силове	287	1,6 - 130	4109	81	0,209	0,683	1,071	858,8	919,4	63	1,193	1024,7	919,4	1376,7
	освітлювальне								158,3	274,2			168,4	291,7	
	Всього								1017,1	1193,6			1193,2	1211,1	1700,1
	<b>Всього по ТП - 8 (2x1000 кВА)</b>														
	силове	313	1,1 - 130	4250,6	118	0,22	0,692	1,0	943,9	985,0	65	1,18	1113,0	985,0	1486,3
	освітлювальне								188,3	326,2			188,6	326,7	
	батареї конденсаторів													-804,0	
	всього								1132,2	1311,2			1301,6	507,7	1397,1
	врати у трансформаторах												16,8	81,7	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-8												1318,5	589,4	1318,5
	<b>ТП-9 (2x1000 кВА)</b>														
17	<b>Склад метала</b>														
	силове	5	1,1 - 70	218,8	64	0,05	0,5	1,73	10,9	18,9	5	3,97	43,4	20,8	48,1
	освітлювальне								24,6	42,7			16,5	28,7	
	Всього								35,6	61,6			60,0	49,5	77,7

## Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18	<b>Механоскладальний цех</b>														
	силлове	187	0,6 - 75	2757	>3	0,288	0,403	2,27	795,2	1808,5	74	1,128	897,1	1808,5	2018,8
	освітлювальне								364,7	631,7			388,1	672,1	
	Всього								1159,9	2440,2			1285,2	2480,7	2793,8
	<b>Всього по ТП-9 (2x1000 кВА)</b>														
	силлове	195	5,7 0 145	2980,8	6	0,27	0,404	2,3	806,2	1827,5	41	1,23	988,1	1827,5	2077,5
	освітлювальне								389,3	674,4			404,6	700,8	
	батареї конденсаторів													-2410,0	
	всього								1195,5	2501,8			1392,7	118,3	1397,7
	втрати у трансформаторах												16,8	81,7	
	<b>Всього на шинах 10 кВ ТП-9</b>												1409,5	200,0	1409,5
	<b>ТП-10 (1x1000 кВА)</b>														
19	<b>Побутові приміщення МЗЦ-24</b>														
	силлове	49	0,1 - 15	126,1	>3	0,63	0,92	0,41	80,0	33,0	17	1,14	91,4	33,0	97,2
	освітлювальне								169,3	82,0			162,6	78,7	
	Всього								249,3	115,0			254,0	111,7	277,5
	<b>Інженерно- л/б корпус №1</b>														
	силлове	138	0,1 - 15	235	>3	0,60	0,89	0,52	141,5	74,0	31	1,10	155,9	74,0	172,6
	освітлювальне								140,8	68,2			135,1	65,4	
	Всього								282,2	142,2			291,1	139,5	322,8
	<b>Інженерно- л/б корпус №2</b>														
	силлове	113	0,1 - 15	226,5	>3	0,59	0,89	0,52	133,3	69,6	30	1,11	147,9	69,6	163,5
	освітлювальне								140,8	0,9			135,1	65,4	
	Всього								274,0	70,5			283,1	135,1	313,6
	<b>Всього по ТП - 10 (1x1000 кВА)</b>														
	силлове	300	0,1 - 15	587,6	>3	1	0,90	0,50	354,7	176,6	78	1,05	372,4	176,6	412,2
	освітлювальне								450,9	151,1			432,8	209,6	
	батареї конденсаторів													-300,0	
	всього								805,6	327,7			805,3	86,2	809,9
	втрати у трансформаторах												10,5	50,1	
	<b>Всього на шинах 10 кВ ТП-10</b>												815,7	136,3	815,7

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>Всього по групі цехів ГПП-2</b>														
	силове	2725	0,1 - 145,0	32014,5	>3	0,284	0,68	1,07	9086,1	9696,8	442	1,03	9323,2	9696,8	13451,8
	освітлювальне								2289,4	3136,3			2240,2	3148,7	
	батареї конденсаторів													-9750,0	
	Всього								11375,5	12833,1			11563,4	3095,5	11970,5
	втрати у трансформаторах												154,0	694,3	
	<b>Компресорна станція</b>														
	Компресори (СД 10 кВ)	4	630 - 630	2520	1	0,8	-0,768	-0,83	2016,0	-1683,3	4	1,00	2016,0	-1683,0	2626,2
	Всього по ГПП-2 на шинях 10 кВ												13733,4	2106,8	13894,0
	Втрати у трансформаторах ГПП-2												91,7	883,9	
	Всього по ГПП-2 на шинях 35 кВ												13825,1	2990,7	14144,9

## 1.4 Графіки електричних навантажень

Для детального аналізу режимів електроспоживання будуються добові графіки навантажень  $P(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $S(t)$  для зимового та літнього періодів. За основу приймаються типові графіки для машинобудівних підприємств, які масштабуються відповідно до розрахункових максимальних навантажень даного заводу. При цьому враховується річний виробничий цикл: зимовий період – 147 робочих та 65 вихідних днів; літній 105 робочих та 48 вихідних днів.

Переведення з відносних значень типового графіка (у відсотках) у іменовані величини (кВт, квар) виконується за наступними співвідношеннями:

$$P_j = \frac{n_{p.j} \cdot P_{\max}}{100\%}; \quad (1.1)$$

$$Q_j = \frac{n_{q.j} \cdot Q_{\max}}{100\%}; \quad (1.2)$$

де  $n_{P,j}$ ,  $n_{Q,j}$  – значення ординати  $j$ -го ступеня для графіка активної та реактивної потужності, %;

$P_{\max}$ ,  $Q_{\max}$  – розрахункові максимуми активної та реактивної потужностей, кВт і квар.

Максимальні навантаження для літньої доби коригуються відносно зимових за допомогою сезонних коефіцієнтів:

$$P_{\max.л} = k_{с.р} \cdot P_{\max.з} = 0,85 \cdot 13733,4 = 11673,4, \text{ кВт};$$

$$Q_{\max.л} = k_{с.к} \cdot Q_{\max.з} = 0,85 \cdot 2106,8 = 1790,8 \text{ квар}.$$

Повна потужність для кожної години доби розраховується за відомою формулою:

$$S_j = \sqrt{P_j^2 + Q_j^2} \text{ кВ} \cdot \text{А}. \quad (1.3)$$

На основі добових графіків розраховується річний графік навантажень за тривалістю. Цей графік дозволяє визначити інтегральні показники роботи системи за рік, такі як річне споживання активної  $W$  і реактивної  $V$  енергії, число годин використання максимуму навантаження  $T_{\max}$  та час найбільших втрат  $\tau$ .

Детальні розрахунки добових графіків представлені в табл. 1.4-1.7, а їх графічне зображення наведено на рис. 1.1. Вихідні дані до розрахунку та кінцеві результати для річного графіка навантажень за тривалістю містяться в табл. 1.8 і на рис. 1.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		23

Таблиця 1.4. Добові графіки електроспоживання робочої зимової доби

Номер інтервалу	Інтервал $t$ , год	$n_{p,j},\%$	$P_{z,j}$ , кВт	$n_{q,j},\%$	$Q_{z,j}$ , квар	$S_{z,j}$ , кВА
1	0 – 1	48,0	6592,0	38,0	800,6	6640,5
2	1 – 2	52,0	7141,4	39,0	821,7	7188,5
3	2 – 3	46,0	6317,4	35,0	737,4	6360,3
4	3 – 4	42,0	5768,0	32,0	674,2	5807,3
5	4 – 5	47,0	6454,7	36,0	758,4	6499,1
6	5 – 6	50,0	6866,7	41,0	863,8	6920,8
7	6 – 7	52,0	7141,4	36,0	758,4	7181,5
8	7 – 8	95,0	13046,7	93,0	1959,3	13193,0
9	8 – 9	100,0	13733,4	100,0	2106,8	13894,1
10	9 – 10	96,0	13184,1	93,0	1959,3	13328,9
11	10 – 11	88,0	12085,4	84,0	1769,7	12214,3
12	11 – 12	80,0	10986,7	76,0	1601,2	11102,8
13	12 – 13	91,0	12497,4	90,0	1896,1	12640,4
14	13 – 14	92,0	12634,7	91,0	1917,2	12779,4
15	14 – 15	84,0	11536,1	82,0	1727,6	11664,7
16	15 – 16	80,0	10986,7	76,0	1601,2	11102,8
17	16 – 17	85,0	11673,4	79,0	1664,4	11791,4
18	17 – 18	81,0	11124,1	77,0	1622,2	11241,7
19	18 – 19	75,0	10300,1	70,0	1474,8	10405,1
20	19 – 20	77,0	10574,7	71,0	1495,8	10680,0
21	20 – 21	73,0	10025,4	71,0	1495,8	10136,4
22	21 – 22	66,0	9064,0	57,0	1200,9	9143,2
23	22 – 23	64,0	8789,4	57,0	1200,9	8871,0
24	23 – 24	52,0	7141,4	40,0	842,7	7190,9

Таблиця 1.5. Добові графіки електроспоживання вихідної зимової доби

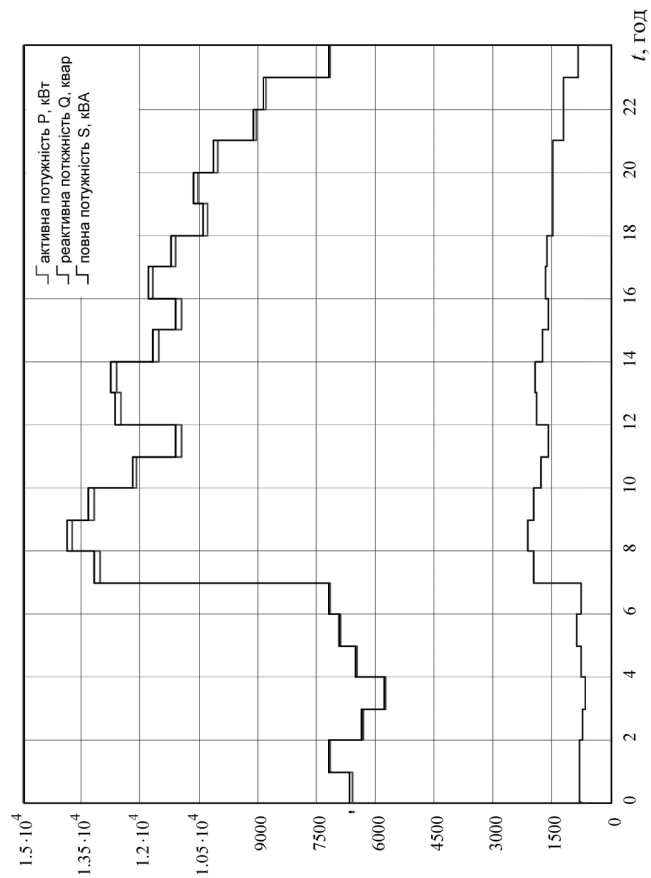
Номер інтервалу	Інтервал $t$ , год	$n_{p,j},\%$	$P_{z,j}$ , кВт	$n_{q,j},\%$	$Q_{z,j}$ , квар	$S_{z,j}$ , кВА
1	0 – 1	34,0	4669,4	36,0	758,4	4730,6
2	1 – 2	34,0	4669,4	36,0	758,4	4730,6
3	2 – 3	34,0	4669,4	36,0	758,4	4730,6
4	3 – 4	34,0	4669,4	36,0	758,4	4730,6
5	4 – 5	34,0	4669,4	36,0	758,4	4730,6
6	5 – 6	34,0	4669,4	36,0	758,4	4730,6
7	6 – 7	34,0	4669,4	32,0	674,2	4717,8
8	7 – 8	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
9	8 – 9	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
10	9 – 10	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
11	10 – 11	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
12	11 – 12	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
13	12 – 13	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
14	13 – 14	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
15	14 – 15	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
16	15 – 16	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
17	16 – 17	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
18	17 – 18	27,0	3708,0	25,0	526,7	3745,2
19	18 – 19	32,0	4394,7	37,0	779,5	4463,3
20	19 – 20	32,0	4394,7	37,0	779,5	4463,3
21	20 – 21	34,0	4669,4	37,0	779,5	4734,0
22	21 – 22	34,0	4669,4	37,0	779,5	4734,0
23	22 – 23	34,0	4669,4	37,0	779,5	4734,0
24	23 – 24	34,0	4669,4	37,0	779,5	4734,0

Таблиця 1.6. Добові графіки електроспоживання вихідної зимової доби

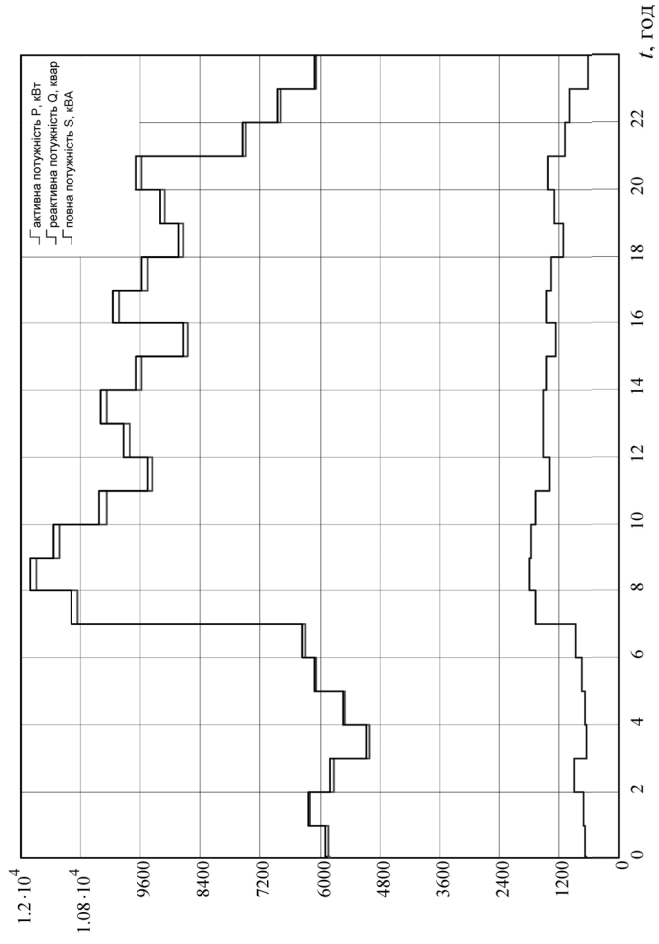
Номер інтервалу	Інтервал $t$ , год	$n_{p,j},\%$	$P_{л,j}$ , кВт	$n_{q,j},\%$	$Q_{л,j}$ , квар	$S_{л,j}$ , кВА
1	0 – 1	50,0	5836,7	39,0	698,4	5878,3
2	1 – 2	53,0	6186,9	40,0	716,3	6228,2
3	2 – 3	49,0	5720,0	51,0	913,3	5792,4
4	3 – 4	43,0	5019,6	36,0	644,7	5060,8
5	4 – 5	47,0	5486,5	38,0	680,5	5528,5
6	5 – 6	52,0	6070,2	42,0	752,1	6116,6
7	6 – 7	54,0	6303,6	48,0	859,6	6362,0
8	7 – 8	93,0	10856,3	93,0	1665,4	10983,3
9	8 – 9	100,0	11673,4	100,0	1790,8	11810,0
10	9 – 10	96,0	11206,5	98,0	1755,0	11343,0
11	10 – 11	88,0	10272,6	94,0	1683,3	10409,6
12	11 – 12	80,0	9338,7	78,0	1396,8	9442,6
13	12 – 13	84,0	9805,6	84,0	1504,3	9920,4
14	13 – 14	88,0	10272,6	84,0	1504,3	10382,1
15	14 – 15	82,0	9572,2	82,0	1468,4	9684,2
16	15 – 16	74,0	8638,3	71,0	1271,5	8731,4
17	16 – 17	86,0	10039,1	82,0	1468,4	10145,9
18	17 – 18	81,0	9455,4	76,0	1361,0	9552,9
19	18 – 19	75,0	8755,0	62,0	1110,3	8825,2
20	19 – 20	78,0	9105,2	72,0	1289,4	9196,1
21	20 – 21	82,0	9572,2	80,0	1432,6	9678,8
22	21 – 22	64,0	7471,0	60,0	1074,5	7547,8
23	22 – 23	58,0	6770,6	56,0	1002,8	6844,4
24	23 – 24	52,0	6070,2	35,0	626,8	6102,4

Таблиця 1.7. Добові графіки електроспоживання вихідної літньої доби

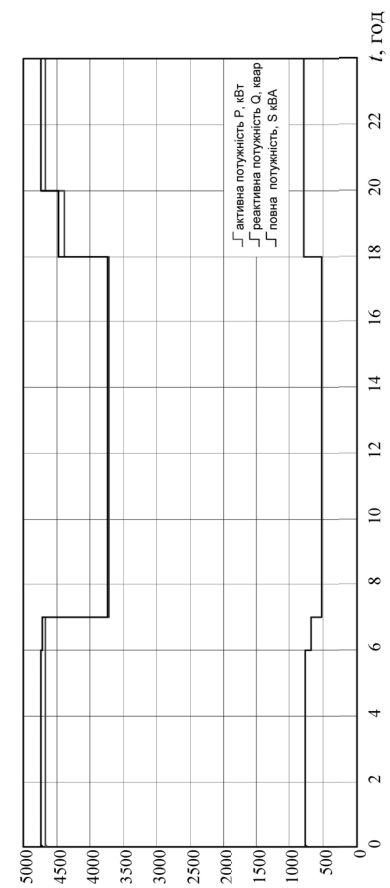
Номер інтервалу	Інтервал $t$ , год	$n_{p,j},\%$	$P_{л,j}$ , кВт	$n_{q,j},\%$	$Q_{л,j}$ , квар	$S_{л,j}$ , кВА
1	0 – 1	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
2	1 – 2	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
3	2 – 3	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
4	3 – 4	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
5	4 – 5	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
6	5 – 6	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
7	6 – 7	24,0	2801,6	35,0	626,8	2870,9
8	7 – 8	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
9	8 – 9	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
10	9 – 10	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
11	10 – 11	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
12	11 – 12	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
13	12 – 13	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
14	13 – 14	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
15	14 – 15	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
16	15 – 16	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
17	16 – 17	24,0	2801,6	25,0	447,7	2837,2
18	17 – 18	29,0	3385,3	25,0	447,7	3414,8
19	18 – 19	29,0	3385,3	28,0	501,4	3422,2
20	19 – 20	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
21	20 – 21	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
22	21 – 22	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
23	22 – 23	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7
24	23 – 24	30,0	3502,0	35,0	626,8	3557,7



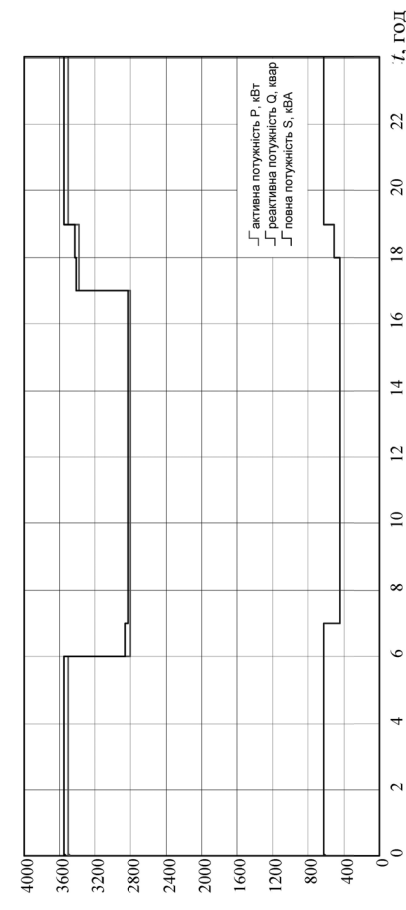
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.1 – Добові графіки електроспоживання підприємства:  
 зимовий період: а) робоча доба, б) вихідна доба;  
 літній період: в) робоча, г) вихідна доба

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата
-----	------	----------	---------	------

Таблиця 1.8. Річні графіки електроспоживання

№ п/п	Тривалість ступеня $t_j$ , год	Потужність $P_j$ , год	Тривалість ступеня $t_j$ , год	Потужність $Q_j$ , кВт	Тривалість ступеня $t_j$ , год	Потужність $S_j$ , квар
1	2	3	4	5	6	7
1	147	13733,4	147	2106,8	147	13894,1
2	147	13184,1	147	1959,3	147	13328,9
3	147	13046,7	147	1959,3	147	13193,0
4	147	12634,7	147	1917,2	147	12779,4
5	147	12497,4	147	1896,1	147	12640,4
6	147	12085,4	147	1769,7	147	12214,3
7	147	11673,4	147	1727,6	105	11810,0
8	105	11673,4	147	1664,4	147	11791,4
9	147	11536,1	147	1622,2	147	11664,7
10	105	11206,5	147	1601,2	105	11343,0
11	147	11124,1	147	1601,2	147	11241,7
12	147	10986,7	147	1495,8	147	11102,8
13	147	10986,7	147	1495,8	147	11102,8
14	105	10856,3	147	1474,8	105	10983,3
15	147	10574,7	147	1200,9	147	10680,0
16	147	10300,1	147	1200,9	105	10409,6
17	105	10272,6	147	863,8	147	10405,1
18	105	10272,6	147	842,7	105	10382,1
19	105	10039,1	147	821,7	105	10145,9
20	147	10025,4	147	800,6	147	10136,4
21	105	9805,6	65	779,5	105	9920,4
22	105	9572,2	65	779,5	105	9684,2
23	105	9572,2	65	779,5	105	9678,8
24	105	9455,4	65	779,5	105	9552,9
25	105	9338,7	65	779,5	105	9442,6
26	105	9105,2	65	779,5	105	9196,1
27	147	9064,0	147	758,4	147	9143,2
28	147	8789,4	65	758,4	147	8871,0
29	105	8755,0	65	758,4	105	8825,2
30	105	8638,3	147	758,4	105	8731,4
31	105	7471,0	65	758,4	105	7547,8
32	147	7141,4	65	758,4	147	7190,9
33	147	7141,4	65	758,4	147	7188,5
34	147	7141,4	65	758,4	147	7181,5
35	147	6866,7	147	737,4	147	6920,8
36	105	6770,6	65	674,2	105	6844,4
37	147	6592,0	147	674,2	147	6640,5
38	147	6454,7	105	626,8	147	6499,1
39	147	6317,4	105	626,8	105	6362,0
40	105	6303,6	105	626,8	147	6360,3
41	105	6186,9	105	626,8	105	6228,2
42	105	6070,2	105	626,8	105	6116,6
43	105	6070,2	48	626,8	105	6102,4
44	105	5836,7	48	626,8	105	5878,3
45	147	5768,0	48	626,8	147	5807,3
46	105	5720,0	48	626,8	105	5792,4
47	105	5486,5	105	626,8	105	5528,5
48	105	5019,6	105	626,8	105	5060,8
49	65	4669,4	105	626,8	65,0	4734,0

Арк.

27

Зм. Арк. № докум. Підпис. Дата

Продовження табл. 1.8

50	65	4669,4	48	626,8	65,0	4734,0
51	65	4669,4	48	626,8	65,0	4734,0
52	65	4669,4	48	626,8	65,0	4734,0
53	65	4669,4	48	626,8	65,0	4730,6
54	65	4669,4	48	626,8	65,0	4730,6
55	65	4669,4	105	626,8	65,0	4730,6
56	65	4669,4	48	626,8	65,0	4730,6
57	65	4669,4	105	626,8	65,0	4730,6
58	65	4669,4	48	626,8	65,0	4730,6
59	65	4669,4	48	626,8	65,0	4717,8
60	65	4394,7	105	626,8	65,0	4463,3
61	65	4394,7	105	626,8	65,0	4463,3
62	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
63	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
64	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
65	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
66	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
67	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
68	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
69	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
70	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
71	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
72	65	3708,0	65	526,7	65,0	3745,2
73	48	3502,0	48	501,48	48,0	3557,7
74	48	3502,0	105	501,4	48,0	3557,7
75	48	3502,0	48	447,7	48,0	3557,7
76	48	3502,0	48	447,7	48,0	3557,7
77	48	3502,0	105	447,7	48,0	3557,7
78	48	3502,0	105	447,7	48,0	3557,7
79	48	3502,0	105	447,7	48,0	3557,7
80	48	3502,0	48	447,7	48,0	3557,7
81	48	3502,0	105	447,7	48,0	3557,7
82	48	3502,0	105	447,7	48,0	3557,7
83	48	3502,0	105	447,7	48,0	3557,7
84	48	3385,3	105	447,7	48,0	3422,2
85	48	3385,3	48	447,7	48,0	3414,8
86	48	2801,6	48	447,7	48,0	2870,9
87	48	2801,6	48	447,7	48,0	2837,2
88	48	2801,6	48	447,7	48,0	2837,2
89	48	2801,6	48	447,7	48,0	2837,2
90	48	2801,6	105	447,7	48,0	2837,2
91	48	2801,6	105	447,7	48,0	2837,2
92	48	2801,6	48	447,7	48,0	2837,2
93	48	2801,6	105	447,7	48,0	2837,2
94	48	2801,6	48	447,7	48,0	2837,2
95	48	2801,6	48	447,7	48,0	2837,2
96	48	2801,6	105	447,7	48,0	2837,2

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		28

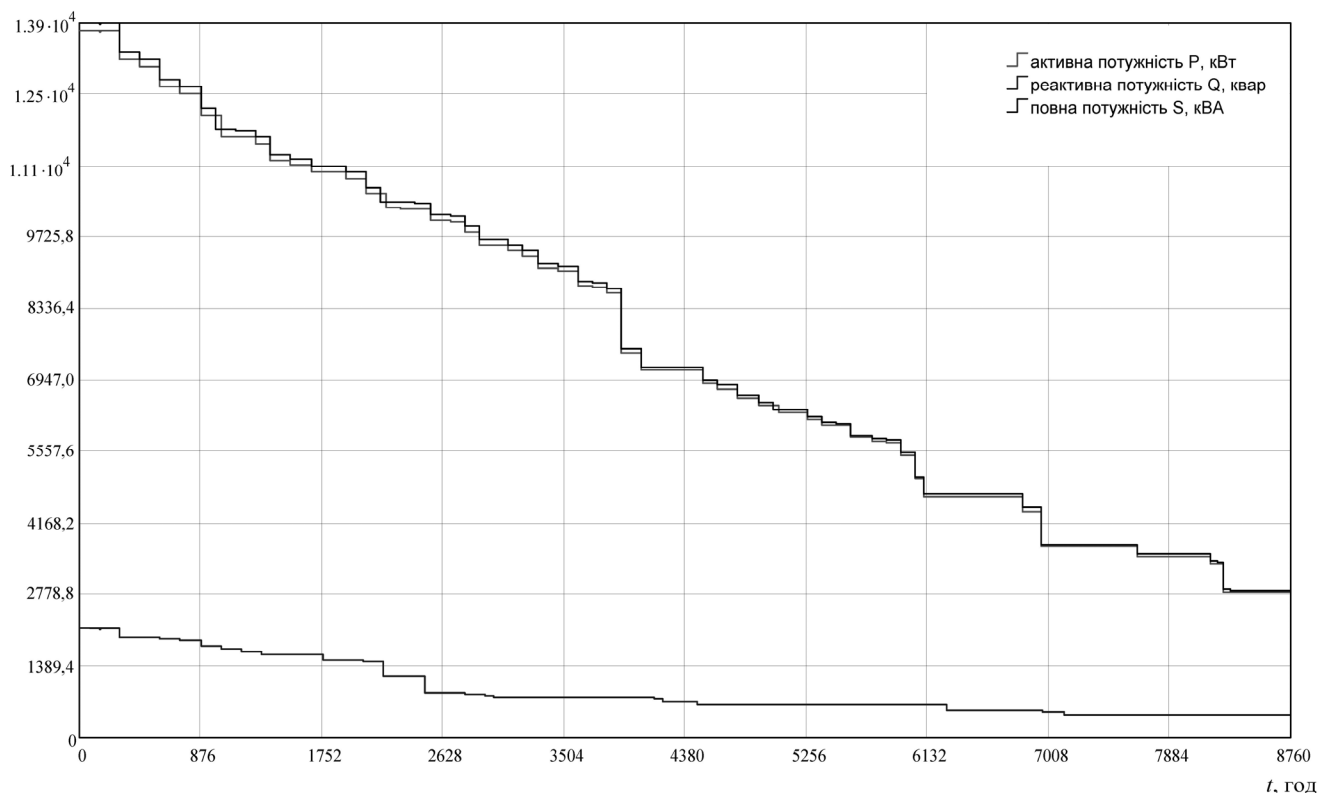


Рисунок 1.2 – Річні графіки електроспоживання заводу за тривалістю

Річна витрата електричної енергії:

- активної

$$W_p = \sum_{j=1}^n [147P_{з.рj} + 65P_{з.вj} + 105P_{л.рj} + 48P_{л.вj}] = 65804,5 \text{ МВт}\cdot\text{год};$$

- реактивної

$$V_p = \sum_{j=1}^n [147Q_{з.рj} + 65Q_{з.вj} + 105Q_{л.рj} + 48Q_{л.вj}] = 9495,8 \text{ Мвар}\cdot\text{год}.$$

Тривалість використання максимуму навантаження

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{65804,5^2 + 9495,8^2}}{13894} = 4785,2 \text{ год}.$$

Час максимальних втрат

$$\tau = \left[ 0,124 + \frac{T_{\max}}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = \left[ 0,124 + \frac{4785,2}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = 3180,2 \text{ год}.$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

## 2. ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ

Визначення оптимального місця спорудження ГЗП та цехових ТП використовується метод картограми електричних навантажень. Він полягає в нанесенні на генеральний план підприємства умовних кіл, що відповідають кожному цеху  $P_p$ . Площа кожного такого кола пропорційна повній розрахунковій потужності  $S_p$  відповідного споживача і визначається з урахуванням обраного масштабу за формулою.

$$R_j = \sqrt{\frac{P_{p,\Sigma}}{\pi \cdot m}} \quad (2.1)$$

де  $m$  – масштаб кола, приймаємо рівним  $0,9 \text{ кВт/мм}^2$ .

Для візуалізації структури навантаження всередині кола виділяється сектор, що відповідають, освітлювальному навантаженню. Центральний кут  $\alpha$  такого сектора визначається за формулою:

$$\alpha_j = 360 \frac{P_{\text{осв}(p)j}}{P_{p\Sigma}}, \text{град} \quad (2.2)$$

Розрахунок картограми навантажень проведено у вигляді табл. 2.1.

На основі отриманої картограми розраховуються координати умовного центру електричних навантажень (ЦЕН) всього підприємства. Розрахунок ведеться за стандартними формулами для центра ваги, де в якості «ваги» кожної точки використовується її активна розрахункова потужність  $P_j$   $j$ -го цеха:

$$x_0 = \frac{\sum_{j=1}^n x_j P_j}{\sum_{i=1}^n P_j} = \frac{2\,880\,505,8}{14\,335,0} = 200,9 \text{ м}; \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_j P_j}{\sum_{i=1}^n P_j} = \frac{3\,938\,061,1}{14\,335,0} = 274,7 \text{ м};$$

де  $n$  – кількість цехів у групі;

$x_j$  та  $y_j$  – координати  $j$ -го цеха на генеральному плані;

$P_j$  – розрахункове навантаження  $j$ -го цеха.

Варто зазначити, що ЦЕН не є фінальною точкою для розміщення ГЗП. Для оптимізації капітальних витрат, а саме для мінімізації довжини та вартості високовольтних кабельних ліній живлення (35 кВ), положення ГЗП необхідно зміщувати від ЦЕН в напрямку зовнішнього джерела. У даному проєкті розрахункові координати ЦЕН  $x_0 = 201 \text{ м}$ ,  $y_0 = 275 \text{ м}$  були скориговані, і для спорудження ГЗП прийнято точку з координатами  $x_{\text{ГЗП}} = 174 \text{ м}$ ,  $y_{\text{ГЗП}} = 335 \text{ м}$ . Усі вихідні дані та розрахунки для побудови картограми зведені в табл. 2.1.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	30

Таблиця 2.1. Вихідні дані та результати розрахунку картограми навантажень підприємства

№ п/п	Назва підрозділу	Навантаження, кВт			Радіус кола, мм	Координати центру кола, м		Градусна міра кута, $\alpha_j$	Добутки,	
		$P_{p,j}$	$P_{oc,j}$	$P_{j,\Sigma}$		$x_j$	$y_j$		$P_x$ , кВт·м	$P_y$ , квар·м
1	Цех морозива №1	346,2	16,8	363,1	12,0	20,5	114,8	16,7	7442,6	41678,8
2	Морозильна камера №1	155,3	3,8	159,1	8,0	20,5	93,1	8,5	3261,1	14810,2
3	Котельна	103,9	2,9	106,8	6,5	17,2	70,8	9,6	1837,0	7561,4
4	Механічна майстерня	76,9	15,8	92,7	6,1	68,8	49,1	61,5	6378,3	4552,0
5	Головний виробничий корпус	660,6	135,4	796,0	17,8	68,8	113,2	61,3	54764,2	90106,1
6	Склад	42,1	3,6	45,7	4,3	108,2	115,2	28,5	4944,7	5264,6
8	Градірня	79,8	0,6	80,4	5,7	120,4	76,7	2,6	9682,9	6168,4
9	Вафельний цех №1	207,5	12,5	219,9	9,4	129,5	45,8	20,4	28482,7	10073,4
10	Вафельний цех №2	232,2	15,1	247,3	9,9	123,2	28,5	22,0	30463,0	7047,1
11	Компресорна №1	1311,9	6,5	1318,4	22,9	131,6	115,8	1,8	173 503,7	152672,7
12	Компресорна №2	1097,9	3,0	1100,9	20,9	155,9	123,5	1,0	171 634,1	135964,1
13	Конденсатне відділення	89,1	2,8	91,9	6,0	155,3	105,3	11,1	14 277,1	9680,5
14	Морозильна камера №2	31,5	3,1	34,6	3,7	174	73,8	32,5	6018,3	2552,6
15	Морозильна камера №3	36,1	3,7	39,8	4,0	173,8	35,9	33,6	6917,6	1428,9
16	Депо електрокар	114,6	2,3	116,8	6,8	175,5	113,9	7,0	20 505,0	13307,8
17	Компресорна №3	1256,9	6,5	1263,4	22,4	191,5	109,8	1,9	241 934,2	138 717,4
18	Цех морозива №3	405,2	34,4	439,6	13,2	204,9	85,3	28,2	90 083,0	37 501,6
19	Цех морозива №2	482,9	28,5	511,4	14,3	206,3	44,4	20,1	105 498,4	22 705,4
	Підсумок			7027,9					977 628,0	701 793,1

## 3 ВИБІР СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### 3.1 Вибір напруги і схеми приєднання

Раціональний вибір номінальної напруги та схеми приєднання до енергосистеми є визначальними для ефективності зовнішнього електропостачання.

Вибір параметрів та схеми зовнішньої мережі виконують з урахуванням таких ключових факторів:

- величина розрахункового навантаження;
- віддаленість підприємства від потенційних джерел живлення (підстанцій енергосистеми);
- категорія надійності електропостачання споживачів;
- конфігурація та щільність розміщення навантажень по території підприємства;
- клас напруги наявних або проєктованих потужних електроприймачів.

Напругу для системи зовнішнього електропостачання обирають шляхом техніко-економічного порівняння стандартних рівнів напруги (6-110 кВ і вище). Оптимальним є варіант, що забезпечує необхідні технічні характеристики за мінімальних зведених витрат.

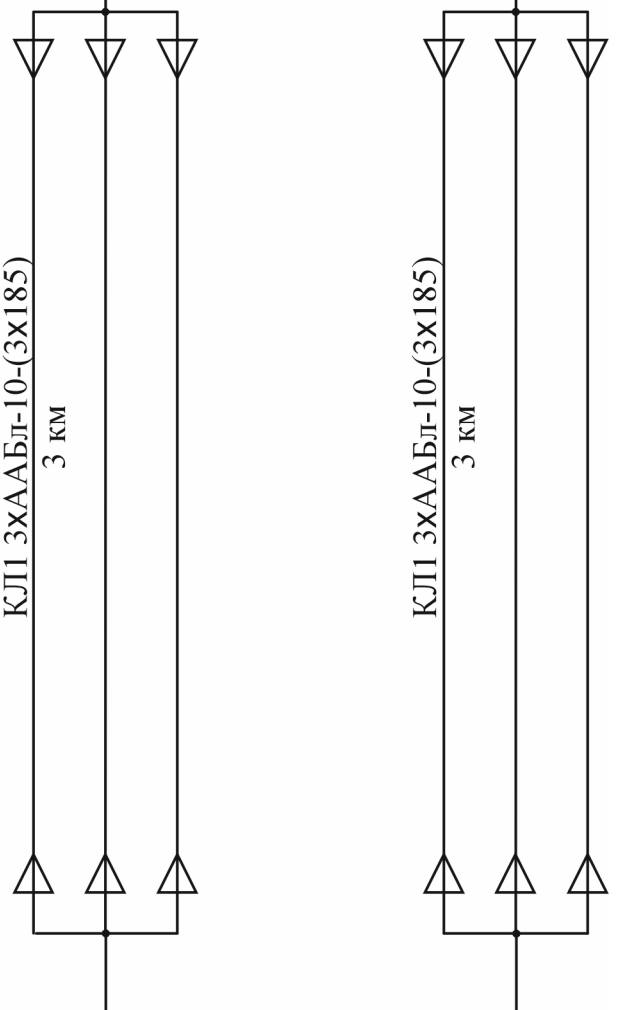
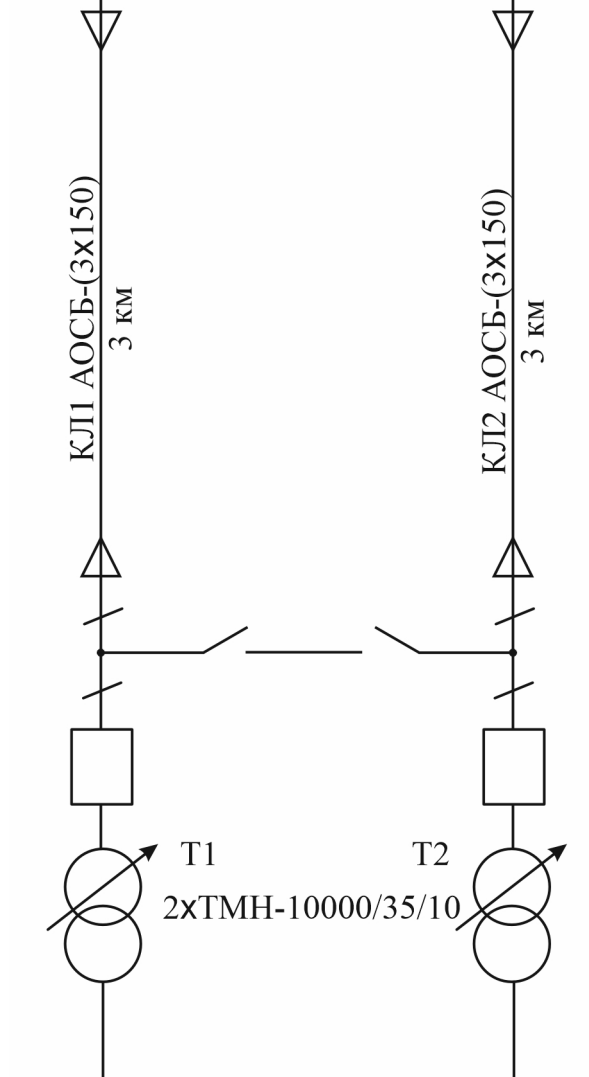
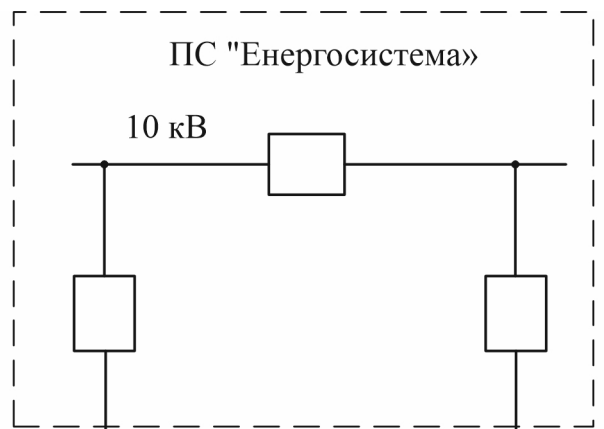
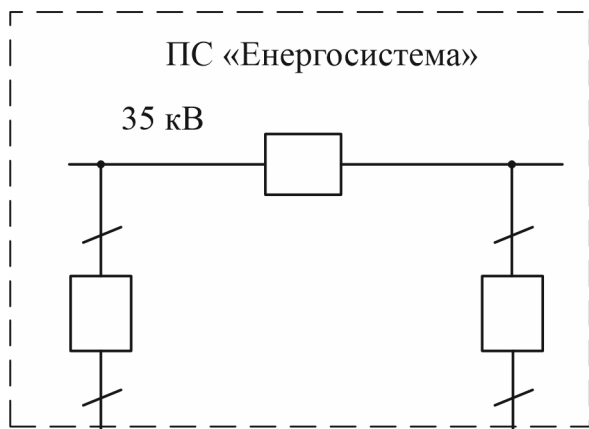
Розрахункове навантаження підприємства становить 14,1 МВА. За цією потужністю об'єкт можна віднести до споживачів середньої потужності. Для таких об'єктів, як правило, проєктують схеми з одним пунктом прийому електроенергії – ГЗП або центральною розподільною установкою (ЦРУ). Для забезпечення надійного живлення споживачів I категорії надійності шини ГЗП або ЦРУ секціонують, а кожну секцію живлять по окремій лінії електропередачі.

На основі наведених міркувань до подальшого аналізу приймаються два варіанти схеми приєднання:

Варіант 1: Живлення на напрузі 35 кВ. Електропостачання здійснюється від ПС по двох КЛ довжиною 3 км. На території підприємства будується ГЗП 35/10 кВ з двома трансформаторами. Між кабельними лініями передбачено ремонтну перемичку з роз'єднувачами (рис. 3.1, а);

Варіант 2. Живлення на напрузі 10 кВ. Електропостачання від шин 10 кВ районної підстанції енергосистеми двома кабельними лініями довжиною 3 км. На території підприємства споруджується центральний розподільний пункт (ЦРУ) з двома секціями шин, до яких приєднуються КЛ (рис. 3.1, б).

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					32



а)

б)

Рисунок 3.1 – Варіанти схеми приєднання підприємства:

а) варіант №1; б) варіант №2

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Остаточний варіант електропостачання приймається на основі техніко-економічного порівняння, ключовим критерієм якого є мінімум зведених витрат.

Варіант №1.

Розрахунковий струм у КЛ-1

- нормальний режим:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{14144,9}{\sqrt{3} \cdot 36,8} = 111 \text{ А.}$$

- нормальний режим:

$$I_{p.a} = 2I_p = 2 \cdot 111 = 222 \text{ А.}$$

Попередньо приймаємо кабель АОСБ-(3x150). Тривало допустимий струм якого складає  $I_{доп} = 240 \text{ А}$  [1], а втрати потужності  $\Delta p_{кз} = 37 \text{ кВт/км}$ .

Допустимий струм КЛ з урахуванням зниження струму у нормальному режимі при прокладці 2-х КЛ поряд, в одній траншеї:

$$I'_{доп} = k_{с.з} \cdot I_{доп} = 0,93 \cdot 240 = 223,2 \text{ А.}$$

де  $k_{с.з}$  – коефіцієнт зниження струмового навантаження [1].

Коефіцієнт завантаження КЛ у штатному режимі:

$$k_з = I_p / I'_{доп} = 111 / 223,2 = 0,5.$$

Схема електропостачання спроектована з урахуванням критерію надійності N-1. Це означає, що в післяаварійному режимі, при вимкненні однієї з КЛ (внаслідок пошкодження або для планового ремонту), пропускна здатність іншої лінії є достатньою для живлення всіх споживачів без її перевантаження:

$$I_{p.a} = 222 < I'_{доп} = 223,2 \text{ А.}$$

Отже, приймаємо кабель АОСБ-(3x150) до подальшого розгляду.

З огляду на наявність споживачів I та II категорій, що вимагають підвищеної надійності живлення обирається двотрансформаторна схема. Необхідна потужність кожного трансформатора ГЗП визначається з умови роботи в післяаварійному режимі:

$$S_{т.ном} \geq \frac{S_p}{n \cdot k_з} = \frac{13894}{2 \cdot 0,7} = 9924,3 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Згідно з розрахунком, для забезпечення живлення всього підприємства вибираємо трансформатори з номінальною потужністю 10000 кВ·А.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		34

Коефіцієнт завантаження трансформаторів у штаному режимі:

$$k_3 = \frac{S_p}{nS_{\text{НОМ}}} = \frac{13894}{2 \cdot 10000} = 0,695.$$

Перевантажувальна здатність трансформаторів

$$1,4S_{\text{НОМ}} \geq S_p$$

$$1,4 \cdot 10000 > 13894 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Перевірка підтверджує, що перевантажувальна здатність трансформатора з  $S_{\text{НОМ}} = 10000$  кВА є достатньою для покриття розрахункового аварійного навантаження. Таким чином, до встановлення приймається трансформатори марки ТМН-10000/35/10.

Варіант №2. Вибір кабельних ліній.

Струмові навантаження для КЛ-1:

- штатний режим:

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} = \frac{13894}{2\sqrt{3} \cdot 10,5} = 382,2 \text{ А};$$

- післяаварійний режим:

$$I_{p.a} = nI_p = 2 \cdot 382,2 = 764,4 \text{ А}.$$

Попередньо приймаємо до розгляду дві кабельних лінії, кожна, з яких складається з 3-х кабелів площею перерізу струмопровідних жил  $185 \text{ мм}^2$  кожна, кабель марки ААБл-(3x185) з тривалим допустимим струмом  $I_{\text{доп}} = 275 \text{ А}$  та втратами потужності  $\Delta p_{\text{кз}} = 57 \text{ кВт/км}$ .

Допустимий струм кабелів визначаємо з урахуванням взаємного нагріву шести кабелів при прокладанні їх в одній траншеї:

$$I'_{\text{доп}} = n k_{c.z} \cdot I_{\text{доп}} = 3 \cdot 0,81 \cdot 275 = 668,3 \text{ А}.$$

Коефіцієнт завантаження КЛ у штатному режимі:

$$k_3 = \frac{I_p}{nI'_{\text{доп}}} = \frac{764}{2 \cdot 668,3} = 0,57.$$

При виході з ладу однієї ланки схеми приєднання та, що залишилась у роботі працюючи з перевантаженням забезпечить живлення електроприймачів:

$$I_{p.a} = k_{a.n} \cdot I_{\text{доп}} = 1,25 \cdot 668,3 = 835,3 > I'_p = 764 \text{ А}.$$

Отже, кабельні лінії виконані кабелем марки ААБл-(3x185) приймаємо до подальшого розгляду.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		35

## Вибір схеми електропостачання

Головним критерієм для порівняння є мінімум річних приведених витрат. Цей показник є сумою щорічних експлуатаційних витрат та капіталовкладень, приведених до річної розмірності за допомогою нормативного коефіцієнта ефективності.

Розрахунок приведених витрат для кожного варіанту виконується за формулою:

$$P_{в1} = E_n \cdot K + C + B + Z = 0,12 \cdot 43908 + 4443,6 + 9453,7 + 40,7 = 19207,0 \text{ тис. грн.}$$

де  $C$  – річні експлуатаційні витрати, грн/рік;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт;

$K$  – повні капітальні вкладення в елементи схеми, тис. грн;

$B$  – річна вартість витрат електроенергії в елементах схеми, тис. грн./рік;

$Z$  – річні збитки від перерв в електропостачанні, тис. грн/рік;

Важливо відмітити, що для коректного порівняння до розрахунку включаються лише ті складові витрат, які відрізняються в розглянутих варіантах.

### Загальна сума капіталовкладень по варіантах

Капітальні вкладення ( $K$ ) для кожного варіанту розраховуються на базі значень укрупнених показників вартості електротехнічного обладнання.

Результати розрахунку капіталовкладень для обох варіантів зведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Капіталовкладення в схему приєднання за варіантами

№ вар.	Найменування елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис. грн.	Вартість всього, тис. грн.
1	2	3	4	5	6
1	Вимикач 35 кВ	шт.	2	687,0	1374,0
	Роз'єднувач 35 кВ	шт.	4	45,2	180,8
	ВРУ 35 кВ	шт.	1	2600,0	2600,0
	ТМН-10000/35/10	шт.	2	2456,0	4912,0
	Кабельна лінія АОСБ-(3×150)	км	6,0	2800,0	16800,0
	Всього				

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		36

продовження табл. 3.1.

1	2	3	4	5	6
2	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	шт.	2	264,0	528,0
	Кабельна лінія ААБл-(3×185)	км	18,0	2410,0	43380,0
	Всього				43908,0

### Розрахунок поточних витрат

Річні експлуатаційні витрати  $C$  є важливою складовою приведених витрат і розраховуються укрупнено. Вони є сумою двох основних складових:

- амортизаційні відрахування  $A$  – кошти на повне відновлення обладнання після завершення терміну його служби;
- експлуатаційні відрахування  $E$  – витрати на поточні ремонти, технічне обслуговування та заробітну плату персоналу.

Розрахунок цих витрат базується на застосуванні нормативів, виражених у відсотках від капітальної вартості кожного елемента схеми. Загальна сума визначається за формулою:

$$C = A + E = \frac{K_i \cdot H_a}{100} + \frac{K_i \cdot H_e}{100},$$

де  $K_i$  – вартість елемента схеми  $i$ -го варіанту, тис. грн.;

$H_a$  – норма амортизаційних відрахувань, %;

$H_e$  – норма відрахувань на експлуатацію та обслуговування, %.

Детальний розрахунок річних експлуатаційних витрат для порівнюваних варіантів схеми наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Визначення поточних витрат

№ вар.	Найменування елемента схеми приєднання	Норми, %		Витрати, тис. грн.			
		$H_a$	$H_e$	$K$	$A$	$E$	$C$
I	Вимикач 35 кВ	15,0	5,0	1374,0	206,1	68,7	274,8
	Роз'єднувач 35 кВ	15,0	5,0	180,8	27,1	9,0	36,2
	ВРУ 35 кВ	15,0	5,0	2600,0	390,0	130,0	520,0
	ТМН-10000/35/10	15,0	5,0	4912,0	736,8	245,6	982,4
	Кабельна лінія АОСБ-(3x150)	5,0	5,0	16800,0	840,0	840,0	1680,0
	Всього						3493,4
II	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	15,0	5,0	528,0	79,2	26,4	105,6
	Кабельна лінія ААБл-(3×185)	5,0	5,0	43380,0	2169,0	2169,0	4338,0
	Всього						4443,6

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		37

## Вартість втрат електроенергії

### Варіант №1. Вартість втрат електроенергії:

$$B = c_0 \cdot \Delta E = 7,5408 \cdot 614861,7 = 4336,5 \text{ тис. грн};$$

де  $\Delta E$  – втрати електричної енергії:

$$\Delta E = \Delta E_{\text{кл}} + \Delta E_{\text{тр}} = 161063,3 + 453798 = 614861,7 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$\Delta E_{\text{кл.н}}$  – навантажувальні втрати енергії у кабельних лініях:

$$\Delta E_{\text{кл}} = \Delta P_{\text{н.кл}} \cdot \tau = 50,6 \cdot 3180,2 = 161063,3 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$\Delta P_{\text{н}}$  – втрати потужності у КЛ:

$$\Delta P_{\text{н.кл}} = \Delta p_{\text{кл}} \cdot l \cdot k_3^2 = 37 \cdot 6 \cdot 0,48^2 = 50,6 \text{ кВт};$$

$\Delta E_{\text{т}}$  – втрати енергії в трансформаторах:

$$\Delta E_{\text{тр}} = \Delta E_{\text{т.хх}} + \Delta E_{\text{т.н}} = 199758,5 + 254040 = 453798 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$\Delta E_{\text{т.хх}}$  – втрати енергії холостого ходу:

$$\Delta E_{\text{т.хх}} = n \Delta P_{\text{н.хх}} \cdot T_{\text{в}} = 2 \cdot 14,5 \cdot 8760 = 254040 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$T_{\text{в}}$  – час вмикання трансформатора;

$\Delta E_{\text{т.н}}$  – навантажувальні втрати енергії:

$$\Delta E_{\text{т.н}} = n \cdot \Delta p_{\text{н.кз}} \cdot \tau \cdot k_{3,т}^2 = 2 \cdot 65 \cdot 3180,2 \cdot 0,695^2 = 199758,5 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

### Варіант №2. Вартість втрат електроенергії у КЛ 10 кВ:

$$B = c_0 \cdot \Delta E_{\text{кл.н}} = 0,4195 \cdot 1067410,3 = 9453,7 \text{ тис. грн};$$

де  $\Delta E_{\text{кл.н}}$  – навантажувальні втрати енергії у кабелях:

$$\Delta E_{\text{кл.н}} = \Delta P_{\text{н.кл}} \cdot \tau = 335,6 \cdot 3180,2 = 1067410,3 \text{ кВт}\cdot\text{год};$$

$\Delta P_{\text{н.кл}}$  – втрати потужності у кабелях:

$$\Delta P_{\text{н.кл}} = \Delta p_{\text{кл}} \cdot l \cdot k_3^2 = 56 \cdot 18 \cdot 0,57^2 = 335,6 \text{ кВт}.$$

## Збитки від порушення електропостачання

### Варіант №1. Збитки від аварійного недовідпуску електроенергії:

$$Z = z_0 \cdot P_{\text{ср}} \cdot T_{\text{а}} = 143 \cdot 7689 \cdot 0,204 \cdot 10^{-3} = 224,3 \text{ тис. грн};$$

де  $z_0$  – питомий показник збитку від аварійного недоотпуску електроенергії для підприємств сільськогосподарського машинобудування, грн./кВт·год;

$P_{\text{ср}}$  – середньорічна споживана потужність підприємством:

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{р}} \cdot T_{\text{макс}} / 8760 = 13209 \cdot 4840 / 8760 = 7298 \text{ кВт};$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		38

$T_a$  – середньорічний час аварійного простою:

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 2,33 \cdot 10^{-5} \cdot 8760 = 0,204, \text{ год};$$

$K_a^{(2)}$  – коефіцієнт аварійного простою обох ланок:

$$K_a^{(2)} = K_a^2 + 2 \cdot K_{ап} = (7,48 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 1,14 \cdot 10^{-5} = 2,33 \cdot 10^{-5};$$

$K_{ап}$  – коефіцієнт накладення відмов:

$$K_{ап} = 0,5 \cdot \lambda_a \cdot K_{п} = 0,5 \cdot 0,44 \cdot (7,2 \cdot 10^{-3})^2 = 1,14 \cdot 10^{-5};$$

$\lambda_a$  – параметр потоку відмов для однієї ланки:

$$\begin{aligned} \lambda_a &= \sum n \cdot \lambda_{a,i} = n_p \cdot \lambda_{a,i} + n_{\epsilon} \cdot \lambda_{a,i} + \lambda_{a,кл} + \lambda_{a,зб,ш} + \lambda_{a,т} = \\ &= 4 \cdot 0,008 + 2 \cdot 0,008 + 0,18 + 0,2 + 0,01 = 0,44; \end{aligned}$$

$n_p$  – кількість роз'єднувачів 35 кВ, од.;

$n_{\epsilon}$  – кількість вимикачів 35 кВ, од.;

$\lambda_{a,кл}$ ,  $\lambda_{a,зб,ш}$ ,  $\lambda_{a,т}$  – параметри потоку відмов однієї ланки, відповідно, КЛ, збірних шин і трансформатора ГЗП, 1/рік;

$K_a$  – коефіцієнт аварійного простою однієї ланки:

$$K_a = \lambda_a \cdot T_B = 0,44 \cdot 1,7 \cdot 10^{-3} = 7,48 \cdot 10^{-4};$$

$K_{п}$  – коефіцієнт планового простою однієї ланки:

$$K_{п} = 1,2 K_{п,макс} = 1,2 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3};$$

$T_B$  – середній час відновлення однієї ланки:

$$\begin{aligned} T_B &= \frac{\sum \lambda_{a,i} \cdot T_{B,i}}{\lambda_a} = \frac{(4 \cdot 0,008 \cdot 0,34 + 2 \cdot 0,008 \cdot 0,51 + 0,18 \cdot 0,21)}{0,44} \times \\ &\times \frac{0,0024 \cdot 0,25 + 0,01 \cdot 1,71}{0,44} \cdot 10^{-3} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ год/рік}. \end{aligned}$$

Аналогічним чином розраховуємо збитки від недоданої електроенергії і для варіанту №2. результати розрахунку для обох варіантів представлені в табл. 3.3.

Основні показники техніко-економічного порівняння варіантів схеми приєднання представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Визначення збитків від порушення електропостачання

№ вар.	Розраховані параметри							
	$T_B$ , год/рік	$K_a$	$K_{п}$	$\lambda_a$ , 1/рік	$K_{ап}$	$K_a^{(2)}$	$T_a$ , год	$Z$ , тис. грн
I	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$7,48 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	0,44	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$2,33 \cdot 10^{-5}$	0,204	224,3
II	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	0,726	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	0,039	40,7

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					39

Таблиця 3.4 – Результати техніко-економічного обґрунтування варіантів схеми електропостачання

Показники	Од. вим.	Варіант	
		1	2
Капіталовкладення	тис. грн.	25866,8	43908,0
Поточні витрати	тис. грн.	3493,4	4443,6
Вартість втрат електроенергії	тис. грн.	4636,5	9453,7
Збитки від недоотпуску	тис. грн.	224,3	40,7
Приведені витрати	тис. грн.	11458,2	19207,0

Проводимо порівняння приведених витрат по варіантах:

$$ПВ_1 = 11458,2 < ПВ_2 = 19207,0 \text{ тис. грн.};$$

отже, приймаємо схему електропостачання споживачів за варіантом №1.

### 3.2 Обґрунтування схеми внутрішнього розподілу електроенергії

При проектуванні розподільних мереж промислових підприємств зазвичай розглядають три основні типи схем: радіальну, магістральну та комбіновану..

Радіальні схеми електропостачання характеризуються передачею електричної енергії від джерела живлення безпосередньо до кінцевого споживача по окремій лінії. У практичній діяльності найширше застосовуються радіальні схеми з кількістю ступенів розподілу не більше двох.

Одноступінчасті радіальні схеми знайшли своє застосування на підприємствах малої потужності для електропостачання компактно розташованих електроприймачів. Основною перевагою радіальних схем є забезпечення глибокого секціонування, що підвищує надійність їх роботи.

Магістральні схеми розподілу електроенергії доцільно застосовувати у випадках, коли є значна кількість споживачів, а використання радіальних схем стає економічно недоцільним. Головною перевагою магістральних схем є суттєве зменшення кількості комутаційних елементів у системі. Такі схеми особливо ефективні при лінійному або близькому до лінійного розташуванні трансформаторних підстанцій по території підприємства.

Число трансформаторів, що підключаються до однієї магістральної лінії, визначається їх номінальною потужністю та вимогами до рівня надійності електропостачання. До однієї магістралі доцільно підключати не більше 2-3-х цехових трансформаторів потужністю в діапазоні 1000-2500 кВА.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					40

У залежності від кількості ведучих ліній розрізняють одиночні, подвійні та багатоманістральні схеми. Одиночні магістралі мають нижчий рівень надійності порівняно з радіальними схемами через відсутність можливості резервування на рівні низької напруги. Такі схеми без резервування можуть використовуватись виключно для електроприймачів третьої категорії надійності.

Схеми з двома паралельними магістралями забезпечують високий рівень надійності електропостачання. Секції шин трансформаторних підстанцій або розподільних пунктів у штатному режимі функціонують роздільно, що забезпечує можливість швидкого перемикавання навантаження на резервну магістраль у разі виходу з ладу основної лінії.

Комбіновані схеми поєднують переваги різних типів розподільних систем. Типовим прикладом є схема, де цехові трансформаторні підстанції отримують живлення від магістральних ліній, а синхронні двигуни великої потужності підключаються через індивідуальні радіальні лінії. Такий підхід дозволяє оптимізувати як економічні показники, так і надійність електропостачання різних категорій споживачів.

Отже, проектувана внутрішня мережа електропостачання підприємства, виконана за комбінованою схемою: цехові ТП отримують живлення від магістральних ліній а СД від радіальних.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		41

## 4 РЕЖИМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

### 4.1 Аналіз балансу реактивної потужності та вибір засобів компенсації

Сумарна споживана потужність на шинах 0,4 кВ (цехові ТП):

- активна

$$P_{\text{н}} = \sum P_{\text{тп},i} = 2717,4 + 1390,6 + 1378,4 + 2486,0 + 730,6 + 1301,6 + 1392,4 + 805,3 = 12202 \text{ кВт};$$

- реактивна

$$Q_{\text{н}} = \sum Q_{\text{тп},i} = 2427,3 + 1614,9 + 1464,8 + 2434,2 + 678,0 + 1311,7 + 2528,3 + 386,2 = 12845,5 \text{ квар};$$

Сумарне навантаження на шинах 10 кВ ЦРУ підприємства:

- активне

$$P_{\text{р}} = P_{\text{в.н}} + P_{\text{н.н}} + \Delta P_{\text{т}} = 2016 + 12202,3 + 145,4 = 14363,7 \text{ кВт};$$

де  $P_{\text{в.н}}$  – високовольтне навантаження;

$\Delta P_{\text{т}}$  – сумарні (по заводу) втрати потужності у трансформаторах цехових ТП:

$$\Delta P_{\text{т}} = \sum \Delta P_{\text{тп},i} = 32,3 + 16,7 + 16,5 + 28,6 + 9 + 15,2 + 16,7 + 10,4 = 145,4 \text{ кВт};$$

- реактивне:

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{н}} + \Delta Q_{\text{т}} = 0 + 12845,5 + 708,9 = 13554,4 \text{ квар};$$

$Q_{\text{в}}$  – високовольтне навантаження;

$\Delta Q_{\text{т}}$  – сумарні (по заводу) втрати потужності у трансформаторах цехових ТП:

$$\Delta Q_{\text{т}} = \sum \Delta Q_{\text{тп},i} = 157,3 + 81,3 + 80,2 + 141,0 + 43,4 + 74,6 + 81,3 + 49,7 = 708,9 \text{ квар}.$$

Пікове значення реактивної потужності, що може надати енергосистема:

$$Q_{\text{с.м}} = P_{\text{р}} \cdot \text{tg}\varphi = 14363,7 \cdot 0,15 = 2154,6 \text{ квар}.$$

Мінімальна число трансформаторів:

$$N_0 = P_{\text{н}} / (k_3 \cdot S_{\text{н тр}}) = 12202,3 / (0,7 \cdot 1000) = 17,4.$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					42

Приймаємо найближче більше ціле число –  $N_0 = 18$  шт.

Пропускна здатність трансформаторів ЦТП по реактивній потужності:

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot S_{\text{т.ном}} \cdot k_3)^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(18 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 12202,3^2} = 3140,7 \text{ квар.}$$

Потужність компенсуючих пристроїв (КП) 0,4 кВ:

$$Q_{\text{кн}} = Q_{\text{н}} - Q_1 = 12845,5 - 3140,7 = 9704,8 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення  $Q_{\text{кн}} = 9750$  квар (6×536, 2×402, 6×335, 2×225, 4×133 квар).

Уточнене значення  $Q_1 = Q_{\text{н}} - Q_{\text{кн}} = 12845,5 - 9750 = 3095,5$  квар.

Потужність КП 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{кн}} - Q_{\text{е}} = 13554,4 - 9750 - 2154,6 = 1650 \text{ квар.}$$

Так як  $Q_{\text{кв}} > 0$ , то у першу чергу для компенсації у мережі 10 кВ застосовуємо встановлені на компресорній станції СД.

Максимальна потужність, що може бути генерована СД:

$$Q_{\text{max}} = \frac{n \cdot \alpha \cdot Q_{\text{н}}}{\eta} = \frac{4 \cdot 1,21 \cdot 0,327}{0,94} = 1683 \text{ квар;}$$

де  $n$  – кількість СД;

$\alpha$  – коефіцієнт найбільшого перевантаження СД по реактивній потужності;

$Q_{\text{сд.ном}}$  – номінальна реактивна потужність СД.

Оскільки:

$$Q_{\text{сд}} = 1683 > Q_{\text{кв}} = 1650 \text{ квар.}$$

тому додаткове встановлення батарей конденсаторів у мережі 10 кВ не потрібне.

## 4.2 Вибір кількості, потужності та місця встановлення ПКРП

У машинному залі компресорної станції встановлено СД марки СДКП2-17-26-12 на напругу 10 кВ. Окрім своєї основної функції приводу компресорів, ці двигуни працюють у режимі синхронних компенсаторів, генеруючи реактивну потужність. Згенерована потужність передається по радіальних кабельних лініях на шини 10 кВ закритого розподільчого устаткування (ЗРУ), де система автоматичного регулювання збудження СД підтримує коефіцієнт потужності ( $\cos\phi$ ) максимально близьким до одиниці, забезпечуючи режим енергозбереження.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	43

Розміщення потужності низьковольтних компенсуючих пристроїв залежить від багатьох факторів, у даному проєкті проводиться так.

Знаходимо реактивну потужність, яку необхідно компенсувати у мережі НН ТП-3:

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot S_{\text{Т.НОМ}} \cdot k_3)^2 - P_{\text{Н}}^2} = \sqrt{(2 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 1378,4^2} = 161,7 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{кп}} = Q_{\text{Н}} - Q_{\text{П}} = 1614,9 - 161,7 = 1453,3 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки  $Q_{\text{кп}} = 1522$  квар:

УКМ58-0,4-225-37,5 – 2 од;

УКМ58-0,4-536-67 – 2 од.

Результати аналогічних розрахунків для решти цехових ТП зведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Вибір конденсаторних установок

№ ТП	$N_{\text{ТР}}$	$P_{\text{р}}$ , кВт	$Q_{\text{р}}$ , квар	$Q_1$ , квар	$Q_{\text{кп}}$ , квар	$N_{\text{БК}}$	Тип БК	$\Sigma Q_{\text{БК}}$ , квар	$S_{\text{ТП}}$ , кВА	$k_3$
1, 2	4	2717,4	2427,3	567,3	1860,0	4	УКМ58-04-402-67	1874,0	2773,2	0,69
						2	УК4-04-133-33			
3	2	1390,6	1614,9	161,7	1453,3	2	УКМ58-04-536-67	1522,0	1393,7	0,70
						2	УКМ58-04-225-37,5			
4	2	1378,4	1464,8	245,2	1219,6	4	УКМ58-04-300-33,3	1200,0	1403,6	0,70
5, 6	4	2486,0	2434,2	1103,7	1330,5	4	УКМ58-04-335-67	1340,0	2716,2	0,68
7	1	730,6	678,0	349,7	328,3	1	УКМ58-04-300-33,3	300,0	822,6	0,82
8	2	1301,6	1311,7	458,4	853,3	2	УКМ58-04-402-67	804,0	1397,1	0,70
9	2	1392,4	2528,3	145,7	2382,6	4	УКМ58-04-536-67	2410,0	1397,7	0,70
						2	УК4-04-133-33			
10	1	805,3	386,2	87,6	298,7	1	УКМ58-04-300-33,3	300,0	809,9	0,81
Всього		12202,3	12845,5	3119,4	9726,1	28		9750		

## 5 ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

### 5.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів ГЗП

Головна знижувальна підстанція заводу спроектована як дво-трансформаторна. Таке рішення обґрунтоване високими вимогами до надійності електропостачання підприємства, що має у складі навантажень споживачів I та II категорій. Застосування однострансформаторної підстанції для даного об'єкта є неприпустимим, оскільки не дозволяє забезпечити необхідний рівень безперебійності живлення.

Вибір номінальної потужності трансформаторів виконується відповідно до вимог чинних стандартів. Потужність трансформаторів обирається з урахуванням критерію надійності N-1. Цей критерій вимагає, щоб у випадку відмови одного трансформатора, інший, що залишається в роботі, мав достатню потужність для живлення всього навантаження підприємства. При цьому враховується його допустиме аварійне перевантаження, а також можливість тимчасового обмеження навантаження другорядних споживачів без шкоди для основного виробничого процесу.

Детальний аналіз, розрахунки та фінальний вибір кількості і потужності трансформаторів ГЗП представлені в розділі 3 цієї роботи..

### 5.2 Вибір кількості, потужності трансформаторів і місця розташування ЦТП

Проектом передбачається встановлення десяти цехових трансформаторних підстанцій (ТП) для живлення споживачів підприємства. З них вісім виконуються двотрансформаторними, а дві, що живлять допоміжні підрозділи, – однострансформаторними. Таке рішення обґрунтоване наступними чинниками: переважанням у складі навантажень споживачів II категорії, що вимагає резервування; високою концентрацією навантажень та двозмінним режимом роботи заводу.

Кількість та одинична потужність трансформаторів на даному етапі визначаються на базі рекомендованих коефіцієнтів завантаження [2, 3]. Для двотрансформаторних ТП, що обслуговують навантаження переважно II категорії, цей коефіцієнт приймається в межах 0,65-0,7. На основі цих коефіцієнтів та розрахункових навантажень цехів, попередньо визначено, що загальна кількість трансформаторів складе 18 одиниць, номінальною потужністю 1000 кВ·А кожен.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		45

Для доведення правильності попереднього вибору виконується перевірка за методом питомої густини навантаження [3, 4]. Питома густина навантаження  $\sigma$  для заводу становить:

$$\sigma = S_p / F = 11970 / 135354 = 0,09 \text{ кВ}\cdot\text{А}/\text{м}^2,$$

де  $S_p$  – розрахункова потужність заводу, кВА;

$F$  – площа заводу, м<sup>2</sup>.

Оскільки розрахована питома густина навантаження менша за 0,2 кВ·А/м<sup>2</sup>, економічно доцільною номінальною потужністю трансформатора  $S_{н.с}$  є 1000 кВ·А. Розрахункова кількість трансформаторів  $N_{тр}$  при цьому становить:

$$N_{тр} = \frac{S_p}{k_{з.тр} \cdot S_e} = \frac{11970}{0,7 \cdot 1000} = 17,2 \text{ од.}$$

Отримане значення округлюється до найближчого більшого парного числа, що підтверджує правильність попереднього вибору – 18 трансформаторів.

Усі трансформатори двотрансформаторних підстанцій додатково перевіряються на здатність нести навантаження в післяаварійному режимі, враховуючи допустиме перевантаження ( $k_n = 1,4$  згідно з [1]). На основі всіх розрахунків до встановлення приймаються герметичні оливні трансформатори типу ТМГ-1000/10/0,4. Детальні розрахунки по кожній цеховій підстанції представлені в таблиці 5.1.

Розташування ЦТП на території підприємства визначається виходячи з генерального плану та з метою максимального наближення до центрів електричних навантажень. Такий підхід є основою для побудови раціональної мережі 0,4 кВ і надає суттєві переваги:

- скорочення довжини кабельних ліній 0,4 кВ;
- зменшення втрат потужності та електроенергії в мережах;
- можливість застосування ефективних рішень для розподілу енергії, таких як магістральні та розподільчі шинопроводи.

На проєктованому підприємстві більшість підстанцій є вбудованими та розміщуються безпосередньо у виробничих приміщеннях (заготівельно-пресовий, механоскладальні цехи) поблизу найпотужнішого обладнання. Однак, для цеху пластмас та компресорної станції, які мають зони з підвищеною пожежо- та вибухонебезпекою (класи П-Па та В-Па), трансформаторні підстанції розташовані в окремих, прибудованих до цехів, приміщеннях. Компонування кожної ТП є індивідуальним та враховує весь комплекс вимог: архітектурно-будівельних, експлуатаційних, а також умов пожежної безпеки, охолодження обладнання та зручності обслуговування.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					46

Таблиця 5.1. Вибір трансформаторів ЦТП підприємства

№ ТП	Назва споживача	Категорія ЕП по безперебійності електропостачання	$S_p$ , кВт	$k_{3,д}$	$k_{3,ав}$	$S_{р.т.}$ , кВА	Кількість і марка трансформаторів ЦТП	$k_{пт}$	$S_{т.ном} \cdot k_{п} > S_{ав,р}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1, 2	Метизний цех Всього по ТП №1, 2	II	2773,2	0,69	1,39	693,3	2×ТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1386,6
3	Механоскладальний цех №3 Інструментальний цех №112 Освітлення території заводу Всього по ТП №3	II II II	1393,7	0,70	1,39	696,9	2xТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1393,7
4	Цех пластмас Всього по ТП №4	II	1403,6	1,40	1,40	701,8	ТМГ-1000/10/0,4	1	1400 > 1403,6
5, 6	Механоскладальний цех №18 Побутові приміщення МСЦ-18 Їдальня Всього по ТП №5, 6	II III III	2716,2	1,36	1,36	679,0	4xТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1358,1
7	Склад Склад №72 Склад Ремонтно-механічний цех Блок складів Компресорна Вуглекислотна станція Всього по ТП №7	III III III II III II II	822,6	0,82	0,82	822,6	ТМГ-1000/10/0,4	1,4	1000 > 822,6

продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Склад готової продукції	III							
	Заготівельнопресовий цех №23	II							
	Всього по ТП №8		1397,1	0,70	0,70	698,6	4xТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1397,1
9	Склад метала	III							
	Механоскладальний цех	II							
	Всього по ТП №9		1397,7	0,70	0,70	349,4	4xТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1397,7
10	Побутові приміщення МЗЦ-24	III							
	Інженерно- л/б корпус №1	III							
	Інженерно- л/б корпус №2	III							
	Всього по ТП №10		809,9	0,81	-	809,9	ТМГ-1000/10/0,4	1	1000 > 809,9

## 6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 6.1 Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок струмів короткого замикання – це невід'ємний етап проектування системи електропостачання. Його результати – це основа для обґрунтованого вибору та перевірки електрообладнання. При перевірці провідників та апаратів на термічну та динамічну стійкість розрахунковим видом пошкодження є трифазне КЗ, оскільки воно створює найбільші струмові навантаження.

Розрахунок проводиться для максимального режиму роботи СЕП (рис 6.1). У даній роботі детально розглядається розрахунок для однієї з магістральних ліній в максимальному режимі. Результати розрахунків для інших розрахункових точок зведені в табл. 6.1.

Для проведення розрахунків у відносних базисних одиницях прийнято наступні базисні величини:

- потужність  $S_6 = 1000$  МВ·А;
- напруги  $U_{6I} = 36,8$  кВ та  $U_{6II} = 10,5$  кВ.

Відповідно, базові струми для цих ступенів напруги становитимуть:

$$I_{6I} = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_{6I}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 36,8} = 15,7 \text{ кА};$$

$$I_{6II} = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_{6II}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА};$$

Параметри схеми заміщення СЕП (рис. 6.2):

- опір системи

$$x_{c*} = \frac{S_6}{\sqrt{3}I_{кз.с.макс} \cdot U_{cp}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,8 \cdot 36,8} = 2,312 \text{ в.о.};$$

- трансформатора ГЗП:

$$r_{T*} = \Delta p_{кз} \frac{S_6}{S_{НОМ}^2} = 0,065 \frac{1000}{10^2} = 0,65 \text{ в.о.};$$

$$x_{T*} = \frac{u_{кз}}{100\% S_{НОМ}^2} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{1000}{10^2} = 7,5 \text{ в.о.};$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		49

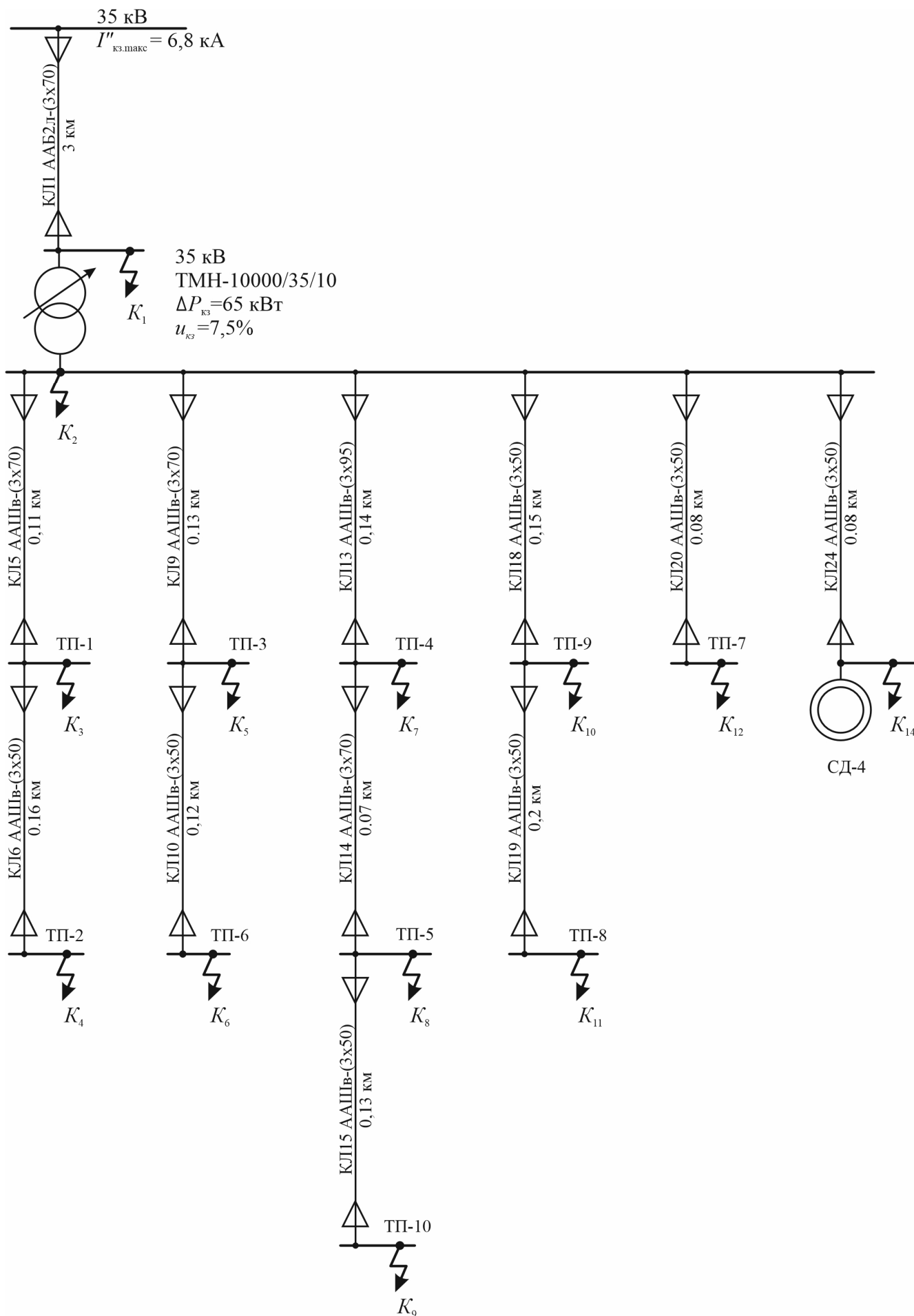


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема СЕП підприємства

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

- кабельних ліній:

КЛ-1

$$r_{\text{кл1*}} = r_0 \cdot l_{\text{кл1}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{cp}}^2} = 0,206 \cdot 3 \cdot \frac{1000}{36,8^2} = 0,456 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл1*}} = x_0 \cdot l_{\text{кл1}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{cp}}^2} = 0,116 \cdot 3 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,257 \text{ в.о.};$$

КЛ-13:

$$r_{\text{кл13*}} = r_0 \cdot l_{\text{кл13}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{cp}}^2} = 0,326 \cdot 0,14 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,414 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл13*}} = x_0 \cdot l_{\text{кл13}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{cp}}^2} = 0,083 \cdot 0,14 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,105 \text{ в.о.};$$

КЛ-14:

$$r_{\text{кл14*}} = r_0 \cdot l_{\text{кл14}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{cp}}^2} = 0,443 \cdot 0,07 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,281 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл14*}} = x_0 \cdot l_{\text{кл14}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{cp}}^2} = 0,086 \cdot 0,07 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,055 \text{ в.о.};$$

КЛ-15:

$$r_{\text{кл15*}} = r_0 \cdot l_{\text{кл15}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{cp}}^2} = 0,62 \cdot 0,13 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,731 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл15*}} = x_0 \cdot l_{\text{кл15}} \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{cp}}^2} = 0,09 \cdot 0,13 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,106 \text{ в.о.};$$

де  $x_0, r_0$  – відповідно, погонні індуктивний та активний опори КЛ, Ом/км;

Сумарні опори в колах намічених точок КЗ:

- точка  $K_1$ :

$$r_{\text{рез1*}} = r_{\text{с*}} + r_{\text{кл1*}} = 0 + 0,456 = 0,456 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез1*}} = x_{\text{с*}} + x_{\text{кл1*}} = 2,31 + 0,257 = 2,564 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез1*}} = \sqrt{r_{\text{рез1*}}^2 + x_{\text{рез1*}}^2} = \sqrt{0,456^2 + 2,564^2} = 2,604 \text{ в.о.};$$

- точка  $K_2$ :

$$r_{\text{рез2}} = r_{\text{рез1}} + r_{\text{т*}} = 0,456 + 0,65 = 1,11 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез2*}} = x_{\text{рез1*}} + x_{\text{т*}} = 2,564 + 7,5 = 10,064 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез2*}} = \sqrt{r_{\text{рез2*}}^2 + x_{\text{рез2*}}^2} = \sqrt{1,11^2 + 10,064^2} = 10,267 \text{ в.о.};$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		51

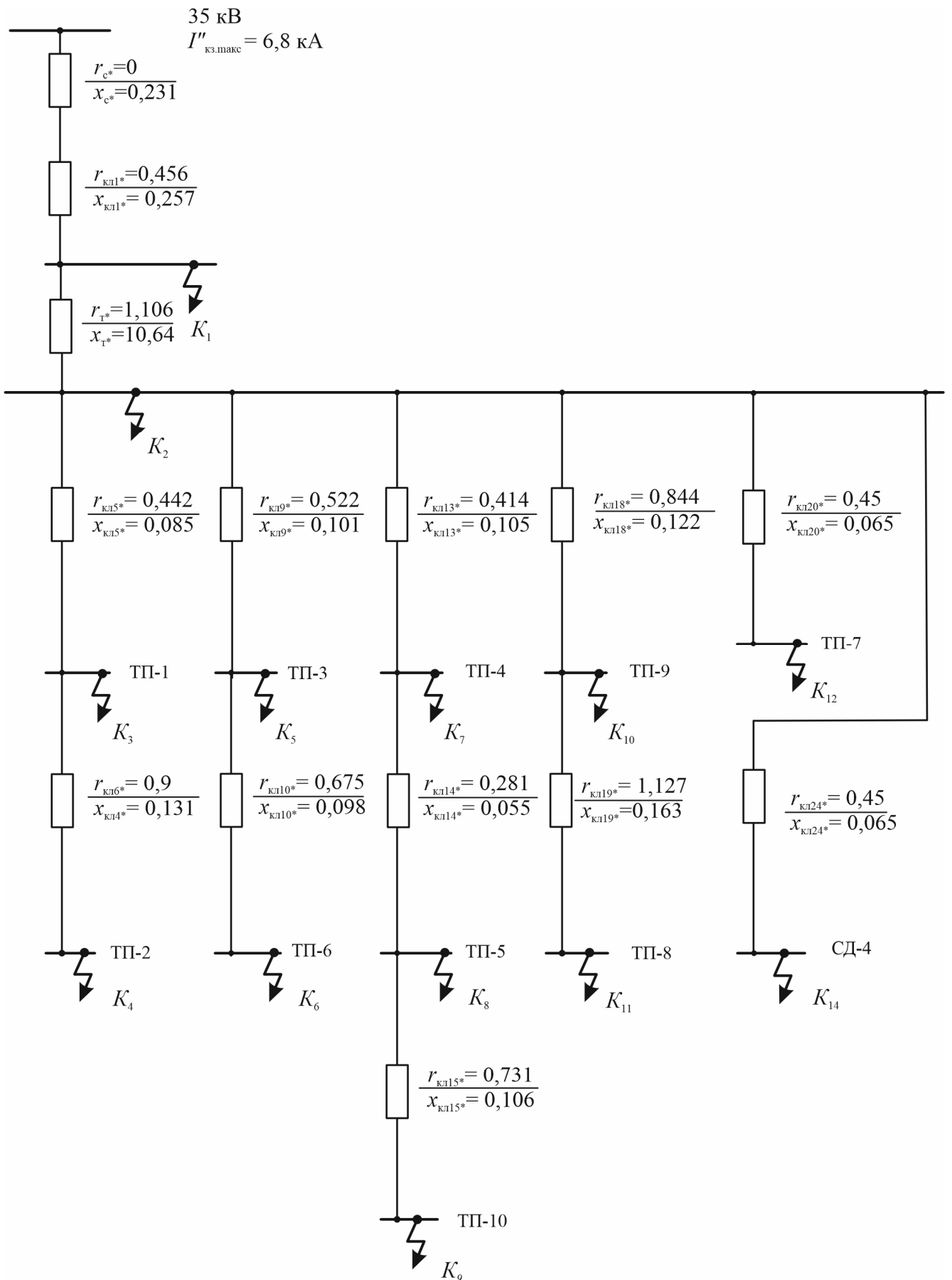


Рисунок 6.2 – Схема заміщення СЕП підприємства

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		52

- точка  $K_7$ :

$$r_{\text{рез}7*} = r_{\text{рез}2*} + r_{\text{кл}13*} = 1,11 + 0,414 = 1,52 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез}7*} = x_{\text{рез}2*} + x_{\text{кл}13} = 10,064 + 0,105 = 10,17 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез}7*} = \sqrt{r_{\text{рез}7*}^2 + x_{\text{рез}7*}^2} = \sqrt{1,52^2 + 10,17^2} = 10,283 \text{ в.о.};$$

- точка  $K_8$ :

$$r_{\text{рез}8*} = r_{\text{рез}7*} + r_{\text{кл}14*} = 1,52 + 0,281 = 1,802 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез}8*} = x_{\text{рез}7*} + x_{\text{кл}14} = 10,17 + 0,055 = 10,224 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез}8*} = \sqrt{r_{\text{рез}8*}^2 + x_{\text{рез}8*}^2} = \sqrt{1,802^2 + 10,224^2} = 10,382 \text{ в.о.};$$

- точка  $K_9$ :

$$r_{\text{рез}9*} = r_{\text{рез}8*} + r_{\text{кл}15*} = 1,802 + 0,731 = 2,533 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез}9*} = x_{\text{рез}8*} + x_{\text{кл}15} = 10,224 + 0,106 = 10,33 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез}9*} = \sqrt{r_{\text{рез}9*}^2 + x_{\text{рез}9*}^2} = \sqrt{2,533^2 + 10,331^2} = 10,636 \text{ в.о.}$$

Ударні коефіцієнти:

$$k_{y1} = 1 + e^{(-0,01/T_{a1})} = 1 + e^{(-0,01/0,0179)} = 1,572;$$

$$k_{y2} = 1 + e^{(-0,01/T_{a2})} = 1 + e^{(-0,01/0,029)} = 1,708;$$

$$k_{y7} = 1 + e^{(-0,01/T_{a7})} = 1 + e^{(-0,01/0,0213)} = 1,625;$$

$$k_{y8} = 1 + e^{(-0,01/T_{a8})} = 1 + e^{(-0,01/0,0181)} = 1,575;$$

$$k_{y9} = 1 + e^{(-0,01/T_{a9})} = 1 + e^{(-0,01/0,013)} = 1,463;$$

де  $T_a$  – час затухання аперіодичної складової струму КЗ:

$$T_{a1} = \frac{x_{\text{рез}1}}{\omega r_{\text{рез}1}} = \frac{2,564}{314,16 \cdot 0,456} = 0,0179 \text{ с}; \quad T_{a2} = \frac{x_{\text{рез}2}}{\omega \cdot r_{\text{рез}2}} = \frac{10,064}{314,16 \cdot 1,106} = 0,029 \text{ с};$$

$$T_{a7} = \frac{x_{\text{рез}7}}{\omega \cdot r_{\text{рез}7}} = \frac{10,17}{314,16 \cdot 1,52} = 0,021 \text{ с}; \quad T_{a8} = \frac{x_{\text{рез}8}}{\omega \cdot r_{\text{рез}8}} = \frac{10,224}{314,16 \cdot 1,802} = 0,0181$$

$$T_{a9} = \frac{x_{\text{рез}9}}{\omega \cdot r_{\text{рез}9}} = \frac{10,33}{314,16 \cdot 2,533} = 0,013 \text{ с.}$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		53

Надперехідний від енергосистеми:

$$I_1'' = \frac{E_*'' \cdot I_{6I}}{z_{рез1*}} = \frac{1 \cdot 15,7}{2,604} = 6,02 \text{ кА}; \quad I_2'' = \frac{E_*'' \cdot I_{6II}}{z_{рез2*}} = \frac{1 \cdot 55}{10,125} = 5,43 \text{ кА};$$

$$I_7'' = \frac{E_*'' \cdot I_{6II}}{z_{рез7*}} = \frac{1 \cdot 55}{10,382} = 5,35 \text{ кА}; \quad I_8'' = \frac{E_*'' \cdot I_{6II}}{z_{рез8*}} = \frac{1 \cdot 55}{10,636} = 5,3 \text{ кА};$$

$$I_9'' = \frac{E_*'' \cdot I_{6II}}{z_{рез9*}} = \frac{1 \cdot 55}{10,636} = 5,17 \text{ кА},$$

де  $E_*''$  – надперехідна ЕРС.

Ударні струми створювані системою:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} k_{уд1} \cdot I_1'' = \sqrt{2} \cdot 1,572 \cdot 6,02 = 13,39 \text{ кА};$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} k_{уд2} \cdot I_2'' = \sqrt{2} \cdot 1,708 \cdot 5,43 = 8,01 \text{ кА};$$

$$i_{уд7} = \sqrt{2} k_{уд7} \cdot I_7'' = \sqrt{2} \cdot 1,625 \cdot 5,35 = 7,88 \text{ кА};$$

$$i_{уд8} = \sqrt{2} k_{уд8} \cdot I_8'' = \sqrt{2} \cdot 1,575 \cdot 5,3 = 7,8 \text{ кА};$$

$$i_{уд9} = \sqrt{2} k_{уд9} \cdot I_9'' = \sqrt{2} \cdot 1,463 \cdot 5,17 = 7,6 \text{ кА}.$$

Початкове значення періодичної складової струму КЗ СД:

$$I_{сд} = \frac{n \cdot E_{сд}'' \cdot I_2}{x_d''} = \frac{2 \cdot 1,053 \cdot 0,047}{0,129} = 0,77, \text{ кА};$$

$E_{сд}''$  – над перехідна ЕРС СД:

$$E_{сд}'' = \sqrt{(U_{*(0)} \cdot \cos \varphi_1)^2 + (U_{*(0)} \cdot \sin \varphi_1 + I_{*(0)} \cdot x_{*d}'')^2} =$$

$$= \sqrt{(1 \cdot 0,934)^2 + (1 \cdot 0,358 + 1 \cdot 0,129)^2} = 1,053;$$

$x_{d*}$  – повздовжній надперехідний опір СД:

$$x_{d*} = \frac{1}{I_{II}''} \sqrt{1 - \left( \frac{M_{II}''}{I_{II}''} \right)^2} = \frac{1}{7,6} \sqrt{1 - \left( \frac{1,5}{7,6} \right)^2} = 0,129;$$

$I_2$  – номінальний струм синхронного двигуна:

$$I_2 = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} U_{НОМ} \cdot \eta} = \frac{0,76}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,94} = 47 \text{ А}.$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					54



## 6.2 Вибір кабельних ліній

Проведемо вибір КЛ-3, КЛ-5 по яких отримує живлення ТП-1 від ЗРУ.

Розрахункові струми КЛ:

- нормальний:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{2750,7}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 79,5 \text{ А};$$

- аварійний:

$$I_{ав} = 2I_p = 2 \cdot 79,5 = 159 \text{ А.}$$

З довідника приймаємо кабель марки ААШв з перетином жил кабелю (3x70) та  $I_{доп} = 162 \text{ А}$ .

Перевіряємо прийнятий кабель:

- за допустимим струмом:

$$I_p \leq I'_{доп} = k_{п} I_{доп};$$

$$79,5 \leq 0,81 \cdot 162 = 131,2 \text{ А};$$

де  $k_{п}$  – коефіцієнт, що враховує на кількість працюючих кабелів в одній траншеї, приймаємо згідно [1], для 6-ти кабелів;

- за можливістю роботи в аварійному режимі:

$$I_p \leq k_{ав} \cdot I'_{доп};$$

$$159 < 1,25 \cdot 131,2 = 164 \text{ А};$$

$k_{ав}$  – коефіцієнт допустимого перевантаження кабелю, згідно [1]

Завантаження КЛ у нормальному режимі:

$$k_3 = I_p / I'_{доп} = 79,5 / 131,2 = 0,6.$$

Мінімальний переріз кабелів, що підключені до ЗРУ 10 кВ за умовою термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{100} \cdot \sqrt{21,6 \cdot 10^3} = 46,5 \text{ мм}^2;$$

де  $C$  – коефіцієнт, рівний 100,  $\text{А} \cdot \text{с}^{0,5} / \text{мм}^2$  для кабелів 10 кВ [4, 5];

$B_k$  – термічний імпульс

$$B_k = I''^2 (t_b + T_a) = 6,2^2 (0,542 + 0,0209) = 21,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	56



### 6.3 Вибір силового високовольтного електрообладнання

Вибір високовольтного обладнання проводиться за номінальними умовами з наступною перевіркою на електродинамічну і термічну стійкість при КЗ. Вибір проведено у вигляді таблиць, де у лівій частині приводяться розрахункові величини, а у правій – каталожні дані елемента. Електроапарат проходить перевірку тоді, коли його параметри більші за розрахункові.

#### 6.3.1 Вибір вимикачів

Приймаємо в якості лінійного вимикача 35 кВ (ПС «Енергосистема», ВРУ 35 кВ), вимикач ВР35НСМ-35-20/1600 У1. Перевірка вірності вибору вимикача зведена у табл. 6.4.

Таблиця 6.4. Вибір вимикача 35 кВ

Розраховані параметри	Каталожні параметри
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_{макс} = 40,5 \text{ кВ}$
$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}nU_{ном}} = \frac{14144,9}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 36,8} = 111 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600,0 \text{ А}$
$I_{макс} = k_{ап} \cdot I_p = 2 \cdot 111 = 222 \text{ А}$	
$I'' = 6,8 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20,0 \text{ кА}$
$i_{а.т} = \sqrt{2}I''e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 6,8e^{-0,07/0,02} = 0,3 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \frac{\beta_n}{100} I_{дин} = \sqrt{2} \frac{20}{100} 20 = 5,7 \text{ кА}$
$I_{п.т} \approx I'' = 6,8 \text{ кА}$	$I_{вим.ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I'' = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,8 = 15,3 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{дин} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20 = 51,0 \text{ А}$
$B_k = 96,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{н.т}^2 \cdot t_{т.н} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

де  $\tau$  – найменший час до початку розриву кола з КЗ:

$$\tau = t_{з.мін} + t_{в.ч} = 0,01 + 0,06 = 0,07 \text{ с};$$

$t_{з.мін}$  – мінімальний час дії РЗ, с;

$t_{в.в}$  – власний час вимикання вимикача, до 60 мс;

$t_{в}$  – час відключення вимикача

$$t_{в} = t_{в.ч} + t_{рз.макс} = 0,06 + 2,0 = 2,06 \text{ с};$$

$\beta_n$  – рівень аперіодичної складової в струмі, що відключається, по рис. 4.3 [9];

Отже, вимикач типу ВР35НСМ-35-20/1600 У1 приймаємо до встановлення.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	58

Методика вибору вимикачів ЗРУ аналогічна до представленої, тому їх вибір виконано у вигляді табл. А1, А2 (додатку А).

### 6.3.2 Вибір роз'єднувачів, вимикачів навантаження

Умови вибору роз'єднувачів та вимикачів навантаження ті ж, що і для вимикачів, але при перевірці вимикача навантаження за струмом вимикання за розрахунковий приймаємо максимальний струм, а не струм КЗ [9, 10].

Попередньо приймаємо роз'єднувач РДЗ-2-35/1000УХЛ, вибір якого представлено у табл. 6.5.

Таблиця 6.5. Вибір роз'єднувачів

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{дій} = 35 \text{ кВ}$	$U_{макс} = 35, \text{ кВ}$
$I_{р.макс} = 222, \text{ А}$	$I_{ном} = 1000, \text{ А}$
$i_{уд} = 15,3 \text{ кА}$	$i_{дин.ном} = 63, \text{ кА}$
$B_{к} = I^{n^2} (t_{в} + T_{а}) = 6,8^2 (2,06 + 0,02) = 96,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{н.т}^2 \cdot t_{т.н} = 25^2 \cdot 1 = 625 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Отже, приймаємо роз'єднувач РДЗ-2-35/1000-УХЛ до встановлення.

В якості апарата для комутації кіл під навантаженням попередньо обираю вимикач навантаження ВНР-10/400-10зУЗ. Одним з етапів його перевірки є розрахунок на термічну стійкість. У цьому розрахунку час вимкнення  $t_{в}$  приймаємо рівним 0,008 с, що відповідає середньому часу спрацювання запобіжника [9, 10]. Повний процес вибору та всі перевірочні розрахунки представлені в табл. 6.8.

Таблиця 6.8. Вибір вимикача навантаження

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{макс} = 12 \text{ кВ}$
$I_{р} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55,1 \text{ А}$	$I_{н.відкл} = 400 \text{ А}$
$I_{макс} = k_{ап} \cdot I_{р} = 1,4 \cdot 55,1 = 77,1 \text{ А}$	$I_{макс} = 800 \text{ А}$
$i_{уд} = 12,3 \text{ кА}$	$i_{дин.ном} = 25, \text{ кА}$
$B_{к} = I^{n^2} \cdot (t_{в} + T_{а}) = 6,12^2 \cdot (0,008 + 0,0213) = 1,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{н.т}^2 \cdot t_{т.н} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Отже, приймаємо до встановлення на ЦТП вимикач ВНР-10/400-10зУЗ.

### 6.3.3. Вибір високовольтних запобіжників

Попередньо обираємо, запобіжник ПКТ103-10-12,5УЗ з номінальним струмом патрона  $I_{н.п.пр} = 100$  А і струмом плавкої вставки  $I_{п.в} = 100$  А.

Перевірка вірності вибору запобіжника проведена у табл. 6.9.

Таблиця 6.9. Вибір запобіжників 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{дій} = 10,5$ кВ	$U_{макс} = 12$ кВ
$I_p = 47,3$ А	$I_{пв.н} = 100$ А
$I_{макс} = 77,1$ А	$I_{пв.н} = 100$ А
$I'' = 6,12$ кА	$I_{внм.н} = 12,5$ кА

Отже, приймаємо до встановлення запобіжник ПКТ103-10-12,5УЗ.

### 6.3.4. Вибір ТВП

Система власних потреб (ВП) забезпечує живлення споживачів, від яких залежить функціонування та управління розподільним пристроєм. До найбільш важливих споживачів ВП в ЗРУ 10 кВ належать: кола оперативного струму, пристрої РЗА, системи зв'язку і телемеханіки, а також аварійне освітлення.

Зважаючи на високі вимоги до надійності цих споживачів, живлення системи ВП здійснюється від двох незалежних трансформаторів. Потужність кожного трансформатора обирається з урахуванням стовідсоткового резервування, що є вимогою для підстанцій без постійного чергового персоналу. Це означає, що номінальна потужність одного трансформатора  $S_{т.ном}$  повинна бути більшою за повне розрахункове навантаження всіх споживачів ВП  $S_p$ .

Детальний розрахунок навантажень представлений в табл. 6.10.

Розрахункове навантаження власних потреб

$$S_p = k_c \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = 0,8 \sqrt{40,4^2 + 1,8^2} = 32,4 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

де  $k_c$  – коефіцієнт попиту [9].

Згідно наведеної вище умови:

$$S_{т.ном} \geq S_p;$$

$$S_{т.ном} = 40 > S_p = 32,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Отже, приймаємо до встановлення трансформатори ТСКС-40/10.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	60

Таблиця 6.10. Навантаження власних потреб

Вид споживача	Установлена потужність, кВт		tgφ	Навантаження	
	одиниці	сумарна		$P_y$ , кВт	$Q_y$ , квар
Підігрів приводів ВРУ 35 кВ	2x1,15	2,3	0	2,3	0,0
Охолодження силових трансформаторів ГЗП	2x1,5	3,0	0,59	3,0	1,8
Освітлення ВРУ 35 кВ	2,0	2,0	0	2,0	0,0
Підігрів шаф КРУ	0,6x21	12,0	0	12,6	0,0
Підігрів шаф РЗ	0,5x21	10,0	0	10,5	0,0
Опалення, освітлення ЗРУ	-	7	0	7	0,0
Оперативні кола	-	3	0	3,0	0,0
Всього				40,4	1,8

## 6.4 Вибір вимірювальних трансформаторів

### 6.4.1 Вибір трансформаторів струму

Вибір трансформаторів струму (ВРУ 35 кВ, ПС «Енергосистема»).

Вибір трансформаторів струму (ТС) є багатоетапним процесом, що включає як вибір за номінальними параметрами, так і подальші перевірочні розрахунки.

Спочатку, на основі номінальної напруги мережі та розрахункового струму первинного кола, попередньо обирається модель трансформатора: в даному випадку це ТФЗМ-35Б-І 600/5. Після цього виконується серія обов'язкових перевірок: на відповідність класу точності при фактичному вторинному навантаженні, а також на термічну та динамічну стійкість до струмів КЗ.

Результати всіх перевірочних розрахунків представлені в табл. 6.11.

Таблиця 6.11. Вибір трансформатору струму

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 36,8$ кВ	$U_{ном} = 40,5$ кВ
$I_p = 111$ А	$I_{ном} = 300$ А
$I_{p, макс} = 222$ А	$I_{ном} = 300$ А
Клас точності 0,5S	0,5S
$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I'' = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,8 = 15,3$ кА	$i_{дин} = 81,0$ кА
$B_k = I''^2 (t_b + T_a) = 6,8^2 (2,06 + 0,0179) = 96,1$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_k = I_{н.т}^2 \cdot t_{т.н} = 31^2 \cdot 3 = 2833$ кА <sup>2</sup> ·с
$Z_2 = 0,95$ Ом	$Z_{2ном} = 1,2$ Ом

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	61

де  $Z_2$  – вторинне навантаження ТС,  $Z_2 \approx r_2$  згідно [9].

Опір з'єднувальних проводів (попередньо):

$$r'_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{прил}} - r_{\text{кон}} = 1,2 - 0,044 - 0,05 = 1,106 \text{ Ом};$$

$r_{\text{прил}}$  – опір приладів приєднаних до ТС:

$$r_{\text{прил}} = S_{\text{прил}}/I_2^2 = 1,1 / 5^2 = 0,044 \text{ Ом};$$

де  $r_{\text{кон}}$  – опір контактів, приймаємо 0,05 Ом [9].

Вибір приладів проведено відповідно рекомендацій до [9]. Розрахунок вторинного навантаження вимірювальних обмоток ТС приведено в табл. 6.12.

Таблиця 6.12. Вторинне навантаження ТС

Назва вимірювального приладу	Марка приладу	Навантаження фаз, В·А		
		А	В	С
Амперметр	Е-377	0,1	0,1	0,1
Лічильник комерційного обліку	ltron SL761	1,0	1,0	1,0
Всього		1,1	1,1	1,1

Перетин з'єднувальних проводів:

$$s'_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 121}{1,106} = 3,1 \text{ мм}^2,$$

де  $\rho$  – питомий опір проводів із алюмінієвими жилами, Ом/м·мм<sup>2</sup>;

$l$  – довжина з'єднувальних проводів

$$l = \sqrt{3}l_{\text{роз}} = \sqrt{3} \cdot 70 = 121 \text{ м},$$

де  $l_{\text{роз}}$  – розрахункова довжина проводів приймаємо 70 м, згідно [9, 10].

За умовою механічної міцності вибираємо провід з  $s = 4 \text{ мм}^2$ , згідно [1].

Кінцевий опір з'єднувальних проводів:

$$r_{\text{пр}} = \frac{\rho \cdot l}{s_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 121}{4,0} = 0,856 \text{ Ом}.$$

Реальне вторинне навантаження ТС:

$$Z_2 = r_{\text{пр}} + r_{\text{прил}} + r_{\text{кон}} = 0,856 + 0,044 + 0,05 = 0,95 \text{ Ом}.$$

Отже, трансформатор струму ТФЗМ35Б-І-300/5 приймаємо до установки.

Вибір ТС для інших приєднань аналогічний і проведений у вигляді табл. А3-А.5 (Додаток А).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		62

#### 6.4.2. Вибір трансформаторів напруги

ГЗП підприємства виконується на базі типової КТП блочного типу (КТПБР-М-35/10 кВ). Конструкція її розподільного пристрою на стороні 35 кВ, що виконаний за схемою «35-5АН», передбачає встановлення двох однофазних трансформаторів напруги для вимірювання лінійних напруг.

Відповідно до цього, для живлення кіл вимірювання та обліку обираються два трансформатори напруги типу НОМ-35-66У1, з'єднані за схемою відкритого  $\Delta$ .

Розрахунок споживаної потужності необхідних вимірювальних приладів для даної системи шин проведений у вигляді табл. 6.13.

Розрахункова перевірка обраних ТН за вторинним навантаженням наведена в табл. 6.14.

Таблиця 6.13. Вторинне навантаження ТН

Прилад	Тип	$S_{\text{ном}}$ , В·А	Кількість приладів	Загальна споживана потужність, В·А
Вольтметр	Е377	2	1	2
Всього				2

Таблиця 6.14. Вибір трансформатора напруги

Умова вибору	Од. вим.	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	кВ	$U_{\text{уст}} = 35, \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 35, \text{ кВ}$
Схема з'єднань:	-	V / V	V / V
Клас точності:	-	0,5	0,5
$S_p \leq S_{\text{ном}}$	В·А	$S_p = 2$	$S_{\text{ном}} = 150$

Таким чином, приймаємо до встановлення ТН – НОМ-35-66У1.

Вибір трансформатора напруги для ЗРУ 10 кВ аналогічний і представлений у табл. А6, А.7 (Додаток А).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		63

## 7 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. «РОЗРАХУНОК ЦЕХОВОЇ МЕРЕЖІ»

### 7.1 Розрахунок силової мережі цеху

Цехова мережа ремонтно-механічного цеху проектується радіальною, живлення технологічного обладнання здійснюється від силових розподільчих пунктів. Силові лінії, цеху прокладаються у водогазопровідних трубах у підлозі. Живлення силових пунктів здійснюється по кабельним лініям, прокладеним відкрито по стінах приміщення цеху.

Розрахункова схема мережі ремонтно-механічного цеху представлена на рис.7.1.

#### 7.1.1. Вибір силових розподільчих пунктів

Для розподілу електроенергії в мережі 0,4 кВ між групами споживачів у межах цеху, застосовуються силові розподільні пункти (ПР) або щити (ЩР). Вибір конкретної моделі розподільного пункту є комплексним завданням, що базується на трьох основних параметрах:

1) номінальний струм пункту повинен із запасом перевищувати сумарний розрахунковий струм навантажень, що до нього підключаються

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \text{ А}; \quad (7.1);$$

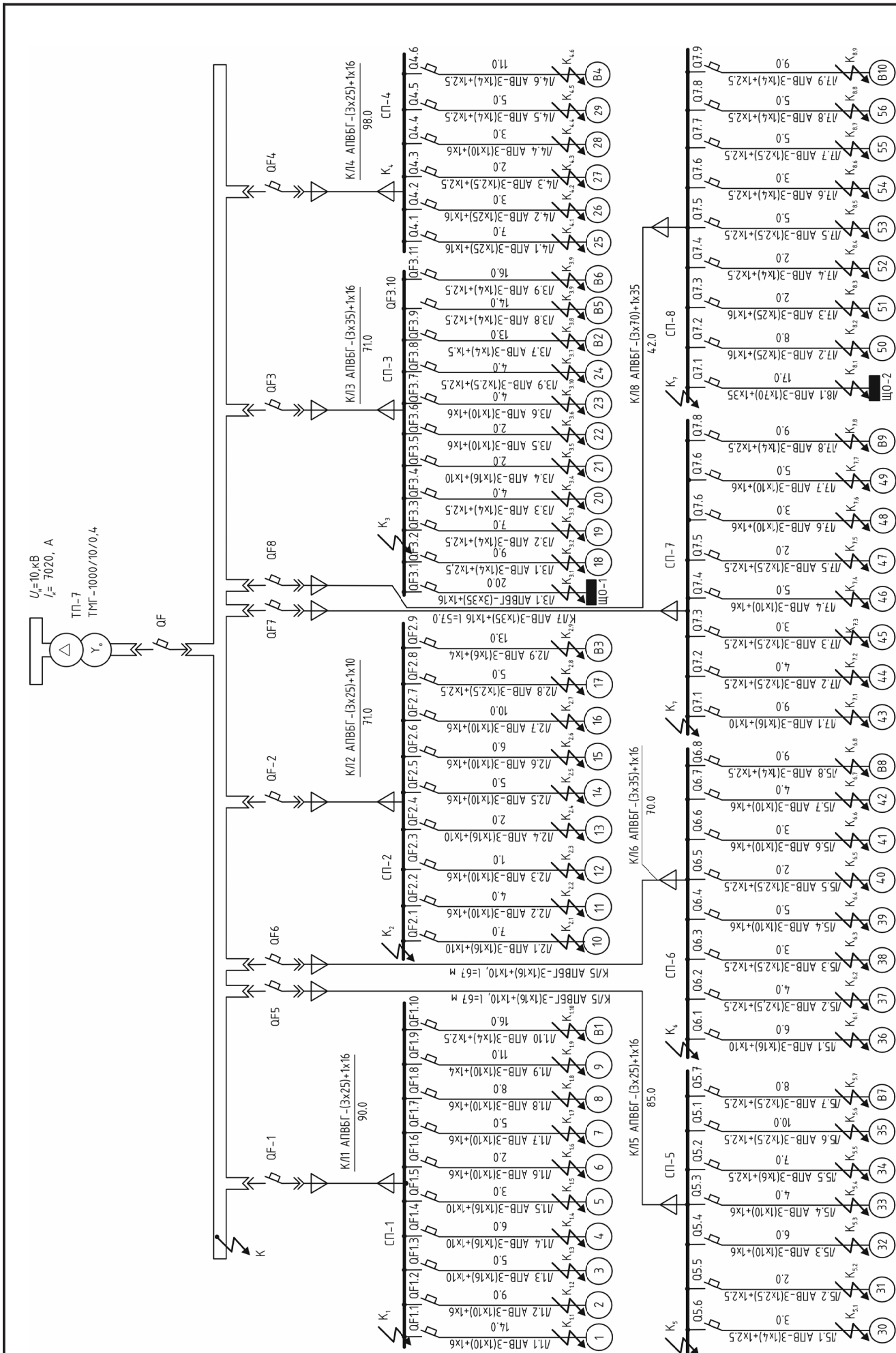
2) кількість апаратів захисту (фідерів) у щиті має відповідати кількості груп споживачів, які від нього живляться;

3) конструктивне виконання та ступінь захисту оболонки (ІР) повинні відповідати умовам навколишнього середовища в місці його встановлення.

У розглядуваному цеху силові пункти розміщуються на території приміщень з технологічним обладнанням, оскільки в приміщенні цеху з нормальні умовами навколишнього середовища. Попередньо приймаємо до установки силові пункти зі ступенем захисту ІР21, серії ПР-8054. За способом встановлення вибрано навісні пункти. Вибір РП представлений у вигляді табл. 7.2.

Розрахункові струми для СП визначаються на основі розрахунку навантажень за методом впорядкованих діаграм (табл. 7.1), а сама методика описана в розділі 1.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					64



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Рисунок 7.1 – розрахункова схема цехової мережі

Таблиця 7.1. Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кількість ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Kв	cosφ	tгр	Середнє навантаження за зміну, кВт		ne	Km	Розрахункова потужність,		
			Одного	Сумарна					Pcp	Qcp			Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>СП-1</b>														
1	Металорізальні верстати	4	3,4 -	22,0	41,4	0,14	0,55	1,52	5,80	8,8					
3	Вентилятор	1	5,5 -	5,5	5,5	0,65	0,88	0,54	3,58	1,9					
	Всього по СП-1	5	3,4 -	22,0	46,9	0,20	0,66	1,15	9,4	10,7	4	2,69	25,2	11,8	27,8
	<b>СП-2</b>														
1	Фрезерні верстати	6	1,7 -	12,0	41,2	0,14	0,45	1,98	5,77	11,4					
3	Вентилятор	1	11,0 -	11,0	11	0,65	0,88	0,54	7,15	3,9					
	Всього по СП-2	7	1,7 -	12,0	52,2	0,25	0,64	1,18	12,9	15,3	7	1,97	25,5	16,8	30,5
	<b>СП-3</b>														
1	Металорізальні верстати	9	8,0 -	14,0	104,8	0,12	0,5	1,73	12,58	21,8					
2	Вентилятор	1	11,0 -	11,0	11	0,65	0,88	0,54	7,15	3,9					
	Всього по СП-3	10	8,0 -	14,0	115,8	0,17	0,61	1,30	19,7	25,6	10	2,00	39,5	28,2	48,5
	<b>СП-4</b>														
1	Токарноінторізні верстати	7	10,0 -	12,9	79,2	0,12	0,5	1,73	9,50	16,5					
2	Кран-балка ГВ=40%	1	1,9 -	1,9	1,9	0,1	0,5	1,73	0,19	0,3					
3	Вентилятор	1	11,0 -	11,0	11	0,65	0,88	0,54	7,15	3,9					
	Всього по СП-4	9	1,9 -	12,9	92,1	0,18	0,63	1,23	16,8	20,6	9	2,03	34,1	22,7	41,0
	<b>СП-5</b>														
1	Металорізальні верстати	6	5,5 -	12,9	50,4	0,12	0,5	1,73	6,05	10,5					
2	Кран-балка ГВ=40%	1	1,9 -	1,9	1,9	0,1	0,5								
3	Вентилятор	3	5,5 -	11,0	22	0,65	0,87	0,57	14,30	8,1					
	Всього по СП-5	10	1,9 -	12,9	74,3	0,27	0,74	0,91	20,3	18,6	10	1,69	34,3	20,4	39,9
	<b>СП-6</b>														
	Шліфувальні верстати	5	1,0 -	10,0	25,9	0,16	0,55	1,52	4,14	6,3					
	Гідростенд	1	22,0 -	22,0	22,0	0,60	0,80	0,75	13,20	9,9					
	Вертикально-фрезерний верстат	1	10,0 -	10,0	10,0	0,14	0,50	1,73	1,40	2,4					
	Вентилятор	1	11,0 -	11,0	11,0	0,65	0,88	0,54	7,15	3,9					
	Всього по СП-6	8	1,0 -	22,0	68,9	0,38	0,76	0,87	25,9	22,5	6	1,72	44,5	24,7	50,9

Продовження табл. 7.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>СП-7</b>														
1	Шліфувальні верстати	6	1,0 - 10,0	35,9		0,16	0,55	1,52	5,74	8,7					
	Гідростенд	1	22,0	22,0		0,6	0,8	0,75	13,20	9,9					
3	Вентильатор	1	11,0 - 11,0	11		0,65	0,88	0,54	7,15	3,9					
	Всього по СП-6	8	1,0 - 22,0	68,9	22	0,38	0,76	0,86	26,1	22,5	6	1,71	44,6	24,7	51,0
	<b>СП-8</b>														
1	Свердильні верстати	2	0,6 - 4,0	4,6		0,14	0,52	1,64	0,64	1,1					
2	Шліфувальні верстати	4	4,9 - 18,5	47,4		0,16	0,55	1,52	7,58	11,5					
3	Кран-балка ТВ=40%	1	6,0 - 6,0	6,0		0,1	0,5	1,73	0,60	1,0					
4	Вентильатор	1	11,0 - 11,0	11		0,65	0,87	0,57	7,15	4,1					
	Всього	8	0,6 - 18,5	69,0	31	0,23	0,67	1,11	16,0	17,7	7	2,03	32,4	19,4	37,8
5	ЩО-1 (освітлення)	1						1,73	24,2	41,9			23,0	39,9	
	Всього по СП-8								40,2	59,6			55,4	59,3	81,2

Таблиця 7.2. Вибір силових пунктів

№ п/п	Тип	Кільк. авт.	Умова вибору		$I_{н.авт}, А$	Тип автомат. вимикачів
			$I_{ном}$	$> I_{роз}, А$		
СП-1	ПР8054-3028	10	250	$> 42,3$	10-63	АЕ2046
СП-2	ПР8054-3028	10	250	$> 46,4$	10-63	АЕ2046
СП-3	ПР8054-3036	12	250	$> 73,8$	10-63	АЕ2046
СП-4	ПР8054-3024	6	250	$> 62,4$	10-63	АЕ2046
СП-5	ПР8054-3018	8	250	$> 60,8$	10-63	АЕ2046
СП-6	ПР8054-3018	8	250	$> 77,4$	10-64	АЕ2046
СП-7	ПР8054-3018	8	250	$> 77,6$	10-63	АЕ2046
СП-8	ПР8054-3028	10	250	$> 123,5$	10-63	АЕ2046

## 7.1.2 Вибір кабельних ліній

Розрахунковий струм лінії, що живить окремий електроприймач, визначається як сума номінальних струмів його двигунів, тоді як для лінії, що живить силовий пункт, він розраховується на основі загального групового навантаження.

Вибір перетину силових та кабельних ліній, що живлять окремі електроприймачі проводиться по:

- допустимому стуму навантаження, так як  $T_{max} < 5000$  год:

$$I_p < k_{пр} \cdot I_{доп}; \quad (7.2)$$

де  $I_p$  – розрахунковий струм лінії, А;

$k_{пр}$  – коефіцієнт прокладання ліній [1];

$I_{доп}$  – тривало допустимий струм провідника, А;

- допустимій втраті напруги:

$$\Delta U_{л} < \Delta U_{доп}, \%; \quad (7.3)$$

де  $\Delta U_{л}$  – дійсна втрата напруги у вибраній лінії:

$$\Delta U_{л} = \frac{l \cdot P_{р.л}}{10 \cdot U_{л}^2} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi), \quad (7.4)$$

$\Delta U_{доп}$  - допустима втрата напруги,  $\Delta U_{доп} \leq 10\%$ .

Вибір перерізів струмопровідних жил ліній представлено у табл. Б. 1 (Додаток Б).

Силові кабельні лінії прокладаються приховано, у тонкостінних металевих трубах у підлозі.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		68

### 7.1.3. Розрахунок струмів коротких замикань

Для ілюстрації методики, в цьому розділі наведено детальний розрахунок однофазного та трифазного струмів КЗ для точки К1.1 (рис. 7.1, 7.2). Результати аналогічних розрахунків для всіх інших визначених точок КЗ зведено до табл. 7.3.

Розрахунок параметрів схеми заміщення (опорів):

- системи:

$$X_c = \frac{U_c}{\sqrt{3}I''_K} \left[ \frac{U_{6.ст}}{U_{НОМ}} \right]^2 = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 7020} \left[ \frac{0,38}{10,0} \right]^2 = 1,19 \text{ мОм};$$

де  $U_{6.ст}$  – базисна напруга, кВ;

$$R_c = 0 \text{ Ом};$$

- трансформатору цехової ПС:

$$Z_{тр} = \frac{u_K, \% \cdot U_{НН}^2}{100S_{Т.НОМ}} = \frac{5,5 \cdot 400^2}{100 \cdot 10^6} = 8,8 \text{ мОм};$$

$$R_{тр} = \frac{P_{КЗ} \cdot U_{НН}^2}{S_{Т.НОМ}^2} = \frac{12,7 \cdot 0,4^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 2,04 \text{ мОм};$$

$$X_{тр} = \sqrt{Z_{тр}^2 - R_{тр}^2} = \sqrt{8,8^2 - 2,04^2} = 8,6 \text{ мОм};$$

- шин, між трансформатором і ввідним автоматичним вимикачем РУ 0,4 кВ:

$$R_{ш} = R_0 \cdot l_{ш} = 0,036 \cdot 7 = 0,252, \text{ мОм};$$

$$X_{ш} = X_0 \cdot l_{ш} = 0,133 \cdot 7 = 0,931, \text{ мОм};$$

- ввідного вимикача ТП-1, QF:

$$\text{контактів: } R_{кон} = 0,06 \text{ мОм};$$

$$\text{котушки розчіплювача: } R_{кат} = 0,045 \text{ мОм}, X_{кат} = 0,06 \text{ мОм};$$

- шин з'єднуючих ввідну шафу з ввідним автоматичним вимикачем (РП ПС):

$$R_{ш} = R_0 \cdot l_{ш} = 0,036 \cdot 5 = 0,18, \text{ мОм};$$

$$X_{ш} = X_0 \cdot l_{ш} = 0,133 \cdot 5 = 0,665, \text{ мОм};$$

- автоматичного вимикача QF-1:

$$\text{контактів: } R_{кон} = 0,5, \text{ мОм};$$

$$\text{котушки роз'єднувача: } R_{кат} = 0,31 \text{ мОм}, X_{кат} = 0,235 \text{ мОм};$$

- кабельної лінії КЛ1:

$$R_{кл1} = R_0 \cdot l_{кл1} = 1,33 \cdot 90 = 119,7 \text{ мОм};$$

$$X_{кл1} = X_0 \cdot l_{кл1} = 0,07 \cdot 90 = 6,3 \text{ мОм};$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					69

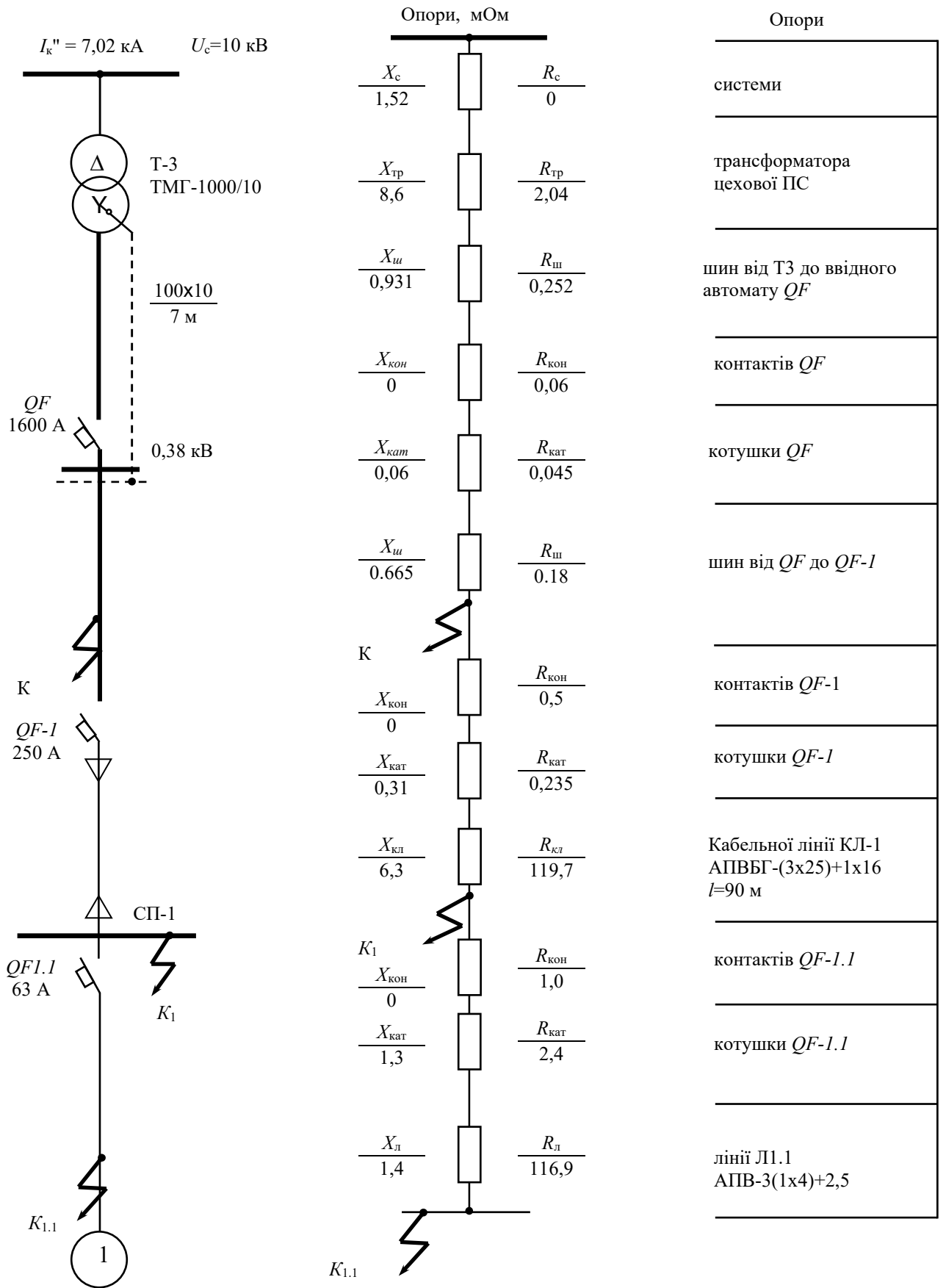


Рисунок 7.2 – Розрахункова схема та схема заміщення до розрахунку струмів КЗ у точках K, K1, K1.1

- автоматичного вимикача QF1.1:

контактів:  $R_{\text{кон}} = 1,0$ , мОм;

котушки розчіплювача:  $R_{\text{кат}} = 0,24$  мОм,  $X_{\text{кат}} = 1,3$  мОм;

- лінії Л-1.1:

$$X_{\text{Л1.1}} = X_o \cdot l_{\text{Л1.1}} = 0,1 \cdot 14 = 1,4, \text{ мОм};$$

$$R_{\text{Л1.1}} = R_o \cdot l_{\text{Л1.1}} = 8,35 \cdot 14 = 116,9, \text{ мОм};$$

Сумарні опори кіл КЗ:

$$\begin{aligned} R_{\Sigma} &= R_c + R_T + R_{\text{ш}} + R_{\text{кон}} + R_{\text{кат}} + R_{\text{ш}} = \\ &= 0 + 2,04 + 0,252 + 0,06 + 0,045 + 0,18 = 2,577 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$R_{1\Sigma} = R_{\Sigma} + R_{\text{кон1}} + R_{\text{кат1}} + R_{\text{кл1}} = 2,577 + 0,5 + 0,31 + 119,7 = 123,1 \text{ мОм};$$

$$R_{1.1\Sigma} = R_{1\Sigma} + R_{\text{кон1.1}} + R_{\text{кат1.1}} + R_{\text{Л1.1}} = 123,1 + 1 + 2,4 + 116,9 = 243,4 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned} X_{\Sigma} &= X_c + X_{\text{тр}} + X_{\text{ш}} + X_{\text{кон}} + X_{\text{кат}} + X_{\text{ш}} = \\ &= 1,19 + 8,06 + 0,931 + 0 + 0,06 + 0,665 = 10,91 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$X_{1\Sigma} = X_{\Sigma} + X_{\text{кон1}} + X_{\text{кат1}} + X_{\text{Л1}} = 10,91 + 0 + 0,235 + 6,3 = 17,45 \text{ мОм};$$

$$X_{1.1\Sigma} = X_{1\Sigma} + X_{\text{кон1.1}} + X_{\text{кат1.1}} + X_{\text{Л1.1}} = 17,45 + 0 + 1,3 + 1,4 = 20,15 \text{ мОм};$$

Сумарні опори кіл КЗ:

$$Z_{\Sigma} = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2} = \sqrt{2,577^2 + 10,91^2} = 11,21 \text{ мОм};$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2} = \sqrt{123,72^2 + 17,7^2} = 124,4 \text{ мОм};$$

$$Z_{1.1\Sigma} = \sqrt{R_{1.1\Sigma}^2 + X_{1.1\Sigma}^2} = \sqrt{243,4^2 + 20,45^2} = 244,2 \text{ мОм};$$

Надперехідні струми трифазного КЗ у розрахункових точках:

$$I''_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} Z_{\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 11,48} = 19,1 \text{ кА};$$

$$I''_{\text{к1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} Z_{1\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 124,4} = 1,764 \text{ кА};$$

$$I''_{\text{к1.1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} Z_{1.1\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 244,2} = 0,9 \text{ кА}.$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		71

Таблиця 7.3. Розрахунок струмів КЗ у цеховій мережі

Точка КЗ	Параметри АВ			Параметри ліній			Сумарні опори		Струм КЗ, кА	
	$R_{кон},$ Ом	$R_{кат},$ Ом	$X_{кат},$ Ом	$R_{кл},$ Ом	$X_{кл},$ Ом	$Z_n,$ Ом	$Z_{\Sigma},$ Ом	$Z_{\Sigma n},$ Ом	$I_{кз}^{(3)}$	$I_{кз}^{(1)}$
<b>К1</b>	0,5	0,31	0,235	119,7	6,3	333	124,3	344,8	1,77	0,64
К1.1	1,0	2,4	1,3	116,9	1,4	337,1	244,2	681,9	0,90	0,32
К1.2	1,0	2,4	1,3	29,97	0,63	88,92	157,7	433,7	1,39	0,51
К1.3	1,0	2,4	1,3	10,4	0,35	22,15	138,2	367,0	1,59	0,60
К1.4	1,0	2,4	1,3	19,98	0,42	26,58	147,7	371,4	1,49	0,59
К1.5	1,0	2,4	1,3	6,24	0,21	13,29	134,1	358,1	1,64	0,61
К1.6	1,0	2,4	1,3	6,66	0,14	19,76	134,5	364,6	1,63	0,60
К1.7	1,0	2,4	1,3	16,65	0,35	49,4	144,4	394,2	1,52	0,56
К1.8	1,0	2,4	1,3	26,64	0,56	79,04	154,3	423,9	1,42	0,52
К1.9	1,0	2,4	1,3	33,3	0,7	98,8	161,0	443,6	1,36	0,50
К1.10	1,0	2,4	1,3	133,6	1,6	385,3	260,9	730,1	0,84	0,30
<b>К2</b>	0,5	0,31	0,235	94,43	4,97	262,7	99,1	274,5	2,22	0,80
К2.1	1,0	2,4	1,3	14,56	0,49	31,01	117,2	317,4	1,87	0,69
К2.2	1,0	2,4	1,3	13,32	0,28	39,52	115,9	368,7	1,89	0,60
К2.3	1,0	2,4	1,3	3,33	0,07	9,88	106,0	390,4	2,07	0,56
К2.4	1,0	2,4	1,3	4,16	0,14	8,86	106,9	411,1	2,06	0,54
К2.5	1,0	2,4	1,3	16,65	0,35	49,4	119,2	472,3	1,84	0,47
К2.6	1,0	2,4	1,3	19,98	0,42	59,28	122,5	543,4	1,79	0,40
К2.7	1,0	2,4	1,3	33,3	0,7	98,8	135,8	654,0	1,62	0,34
К2.8	1,0	2,4	1,3	66,5	0,5	150	168,7	815,8	1,30	0,27
К2.9	1,0	2,4	1,3	72,15	1,17	200,6	174,4	1028	1,26	0,21
<b>К3</b>	0,5	0,31	0,235	68,4	4,32	241,2	73,4	253,0	2,99	0,87
К3.2	1,0	2,4	1,3	75,15	0,9	216,7	151,4	481,6	1,45	0,46
К3.3	1,0	2,4	1,3	58,5	0,7	168,6	134,8	433,4	1,63	0,51
К3.4	1,0	2,4	1,3	33,4	0,4	96,32	109,9	361,2	2,00	0,61
К3.5	1,0	2,4	1,3	4,16	0,14	8,86	81,1	273,7	2,71	0,80
К3.6	1,0	2,4	1,3	6,66	0,14	19,76	83,6	284,6	2,63	0,77
К3.7	1,0	2,4	1,3	13,32	0,28	39,52	90,1	304,4	2,44	0,72
К3.8	1,0	2,4	1,3	53,2	0,4	120	129,5	384,8	1,70	0,57
К3.9	1,0	2,4	1,3	108,6	1,3	313	184,6	577,9	1,19	0,38
К3.10	1,0	2,4	1,3	116,9	1,4	337,1	192,9	602,0	1,14	0,37
К3.11	1,0	2,4	1,3	133,6	1,6	385,3	209,6	638,3	1,05	0,34
<b>К4</b>	0,5	0,31	0,235	130,3	6,86	362,6	134,9	374,4	1,63	0,59
К4.1	1,0	2,4	1,3	9,31	0,49	25,9	147,8	412,1	1,49	0,53
К4.2	1,0	2,4	1,3	3,99	0,21	11,1	142,5	397,3	1,54	0,55
К4.3	1,0	2,4	1,3	26,6	0,2	5	164,9	391,2	1,33	0,56
К4.4	1,0	2,4	1,3	9,99	0,21	29,64	148,4	415,9	1,48	0,53
К4.5	1,0	2,4	1,3	41,75	0,5	120,4	180,0	506,6	1,22	0,43
К4.6	1,0	2,4	1,3	146,3	1,1	330	284,2	716,2	0,77	0,31

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

продовження табл. 7.3.

K5	0,5	0,31	0,235	113,1	5,95	314,5	117,0	326,3	1,88	0,67
K5.1	1,0	2,4	1,3	25,05	0,3	72,24	146,1	410,4	1,50	0,54
K5.2	1,0	2,4	1,3	16,7	0,2	60	137,8	398,1	1,59	0,55
K5.3	1,0	2,4	1,3	19,98	0,42	59,28	141,1	397,4	1,56	0,55
K5.4	1,0	2,4	1,3	13,32	0,28	39,52	134,5	377,7	1,63	0,58
K5.5	1,0	2,4	1,3	58,45	0,7	168,6	179,3	506,7	1,23	0,43
K5.6	1,0	2,4	1,3	133	1	300	253,6	638,1	0,87	0,34
K5.7	1,0	2,4	1,3	106,4	0,8	240	227,0	686,0	0,97	0,32
K6	0,5	0,31	0,235	66,5	0,06	234,5	70,8	246,3	3,10	0,89
K6.1	1,0	2,4	1,3	12,48	0,07	26,58	86,7	284,7	2,53	0,77
K6.2	1,0	2,4	1,3	53,2	0,1	96,32	127,1	354,5	1,73	0,62
K6.3	1,0	2,4	1,3	39,9	0,1	72,24	113,9	330,4	1,93	0,67
K6.4	1,0	2,4	1,3	16,65	0,07	49,4	90,8	307,5	2,42	0,72
K6.5	1,0	2,4	1,3	19,95	0,1	45	94,1	303,1	2,33	0,73
K6.6	1,0	2,4	1,3	9,99	0,07	29,64	84,2	287,8	2,61	0,76
K6.7	1,0	2,4	1,3	13,32	0,07	39,52	87,5	297,7	2,51	0,74
K6.8	1,0	2,4	1,3	75,15	0,1	216,7	149,0	474,9	1,47	0,46
K7	0,5	0,31	0,235	54,15	0,06	191	58,6	202,8	3,75	1,08
K7.1	1,0	2,4	1,3	18,72	0,07	39,87	80,6	254,5	2,72	0,86
K7.2	1,0	2,4	1,3	53,2	0,1	120	114,8	334,6	1,91	0,66
K7.3	1,0	2,4	1,3	39,9	0,1	90	101,6	304,6	2,16	0,72
K7.4	1,0	2,4	1,3	16,65	0,07	49,4	78,6	264,0	2,79	0,83
K7.5	1,0	2,4	1,3	26,6	0,1	60	88,4	274,6	2,48	0,80
K7.6	1,0	2,4	1,3	9,99	0,07	29,64	72,0	244,2	3,05	0,90
K7.7	1,0	2,4	1,3	16,65	0,07	49,4	78,6	264,0	2,79	0,83
K7.8	1,0	2,4	1,3	75,15	0,1	216,7	136,7	431,3	1,61	0,51
K8	0,5	0,31	0,235	20,16	0,06	140,7	26,1	152,5	8,42	1,44
K8.1	1,0	2,4	1,3	16,15	0,06	62,9	44,9	227,2	4,89	0,97
K8.2	1,0	2,4	1,3	26,64	0,07	29,6	55,0	193,9	3,99	1,13
K8.3	1,0	2,4	1,3	7,98	0,07	22,2	37,1	186,5	5,92	1,18
K8.4	1,0	2,4	1,3	16,7	0,1	48,16	45,4	212,5	4,83	1,04
K8.5	1,0	2,4	1,3	66,5	0,1	150	94,3	314,3	2,33	0,70
K8.6	1,0	2,4	1,3	25,05	0,1	72,24	53,5	236,6	4,11	0,93
K8.7	1,0	2,4	1,3	66,5	0,1	150	94,3	314,3	2,33	0,70
K8.8	1,0	2,4	1,3	41,75	0,1	120,4	69,8	284,7	3,14	0,77
K8.9	1,0	2,4	1,3	75,15	0,1	216,7	102,9	381,1	2,14	0,58

Надперехідні струми однофазного КЗ у розрахункових точках:

$$I''_{\text{к}} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\text{п}}} = \frac{220}{11,82} = 18,6 \text{ кА};$$

$$I''_{\text{кл}} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\text{п1}}} = \frac{220}{344,8} = 0,638 \text{ кА};$$

$$I''_{\text{кл.1}} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\text{п1.1}}} = \frac{220}{560,8} = 0,32 \text{ кА};$$

де  $Z_{\text{п}}$ ,  $Z_{\text{п1}}$ ,  $Z_{\text{п1.1}}$  – опір петлі "фаза - нуль" у колі точки К:

$$Z_{\text{п}} = \frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3} + Z_{\text{ш}} \cdot l_{\text{ш}} = \frac{27}{3} + 0,4 \cdot 7 = 11,82 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п1}} = Z_{\text{п1}} + Z_0 \cdot l_{\text{кл1}} = 11,82 + 3,7 \cdot 90 = 344,8 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п1.1}} = Z_{\text{п1}} + Z_0 \cdot l_{\text{кл1.1}} = 233,82 + 16,43 \cdot 14 = 560,8 \text{ мОм}$$

$Z_{\text{п.т}}^{(1)}$  – опір петлі "фаза - нуль" трансформатору ПС приведений до вторинної напруги, мОм;

$Z_{\text{п}}$  – повний опір петлі КЗ, що складається з фазного нульового проводів.

#### 7.1.4. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі вибираються за такими умовами:

1) за номінальним струмом автоматичного вимикача:

$$I_{\text{н.а}} > I_{\text{р}}; \quad (7.5)$$

де  $I_{\text{н.а}}$  – номінальний струм автомата, А;

2) номінальний струм розчіплювача будь-якого типу вибирається за розрахунковим струмом з умов:

$$I_{\text{н.р}} > I_{\text{р}}; \quad (7.6)$$

$$I_{\text{н.р}} > I_{\text{шк}}; \quad (7.7)$$

де  $I_{\text{н.р}}$  – номінальний розчіплювача;

3) захист від перевантажень здійснюється вибором уставки теплового розчіплювача:

$$I_{\text{у.тепл}} = 1,25 I_{\text{н.р}} > I_{\text{р}}; \quad (7.8)$$

4) за умовою надійного спрацювання при однофазних КЗ, згідно [1]:

$$I_{\text{кз}}^{(1)} > 3 \cdot I_{\text{у.тепл}}; \quad (7.9)$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		74

для автоматів тільки з електромагнітним розчіплювачем:

$$I_{кз}^{(1)} > 1,1 \cdot I_{у.тепл}; \quad (7.10)$$

Вибір ввідного автоматичного вимикача (QF)

Комплектні пристрої КТП з трансформаторами потужністю 1000 кВ·А комплектуються вимикачами серії ВА-55-43.

Номінальний струм ввідного вимикача:

$$I_{а.ном} = \frac{S_{н.т}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1520, \text{ А.}$$

Приймаємо номінальний струм автоматичного вимикача:  $I_{ном} = 1600 \text{ А}$  і розчіплювача –  $I_{н.р} = 1600 \text{ А}$ ;

Струм уставки спрацювання напівпровідникового розчіплювача:

- у зоні перевантажень:

$$I_{у.нп.роз.1} = 1,25 \cdot I_n = 1,25 \cdot 1600 = 2000 \text{ А};$$

- у зоні короткого замикання:

$$I_{у.нп.роз.2} = 5 \cdot I_n = 5 \cdot 1600 = 8,0 \text{ кА.}$$

Час перевантаження по захисній характеристиці можливо регулювати на розчіплювачі від 4 до 16 с.

Проводимо перевірку за умовою надійного спрацювання при однофазних КЗ:

$$I_{кз}^{(1)} > 3 \cdot I_{унп.роз}$$

$$18,6 > 3 \cdot 1,6 = 4,8, \text{ кА.}$$

На селективній приставці розчіплювача здійснюються незалежні від струмів КЗ витримки часу 0,1-0,3 с. Встановлюємо витримку часу рівну 0,3 с.

Проводимо перевірку за вимикаючою здатністю вимикача:

$$I_k^{(3)} < I_{відкл.};$$

$$18,6 < 80, \text{ кА.}$$

Отже, автоматичний вимикач ВА-55-43 приймаємо до встановлення.

Вибір автоматичного вимикача (QF1)

У РП ТП-3 встановлено шафи ШНЛ-49УЗ з лінійними автоматичними вимикачами ВА-04-36, отже, приймаємо їх до розгляду.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		75

Номинальний струм автомата:

$$I_p < I_n, \text{ A};$$

$$42,3 < 250 \text{ A}.$$

Номинальний струм розчеплювача:  $I_{н.роз} = 50 \text{ A}$ .

Струм уставки спрацювання у зоні струмів перевантаження (теплого розчеплювача):

$$I_{у.тепл} = 1,25 \cdot I_{ном} = 1,25 \cdot 50 = 62,5 \text{ A}.$$

Струм спрацювання розчеплювача (відсічки) у зоні КЗ:

$$I_{у.роз} = 14I_{ном} = 14 \cdot 50 = 750 \text{ A}.$$

Перевірки

$$I_{кз}^{(1)} > 3 \cdot I_{у.тепл};$$

$$0,64 > 3 \cdot 0,063 = 0,19 \text{ кА}.$$

$$I_k^{(3)} < I_{відкл.}$$

$$1,8 < 18, \text{ кА}.$$

Всі перевірки виконуються, тому автоматичний вимикач ВА-04-36 приймаємо до встановлення.

Вибір ін. вимикачів аналогічний, тому приведений у вигляді табл. Б. 2 (Додаток Б).

Після вибору автоматичних вимикачів, проводимо перевірку попередньо вибраних ліній на відповідність захисному пристрою:

$$k_{пр} \cdot I_{доп} > k_{зах} \cdot I_3 ; \quad (7.11)$$

де  $k_{зах}$  – коефіцієнт захисту, згідно [6],

$I_3$  – номінальний струм або струм спрацювання захисного пристрою.

Результати перевірки подані у табл. Б.3 (Додаток Б).

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		76

## 7.2 Розрахунок освітлювальної мережі

Вибір перерізів проводів освітлювальної мережі ґрунтується на раціональному розподілі допустимої втрати напруги між окремими її ділянками. Перетин проводу магістральної лінії трифазного струму визначають як:

$$F = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{3} I_p l}{\rho \Delta U_{\text{доп}}}, \quad (7.12)$$

де  $I_p$  – розрахунковий струм;

$l$  – довжина магістральної лінії;

$\Delta U$  – допустима втрата напруги;

$\rho$  – питома електропровідність матеріалу проводу.

Для практичних розрахунків допустимо користуватися виразом [11]:

$$F = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{\text{доп}}}, \quad (7.13)$$

де  $M$  – момент навантаження, рівний добутку навантаження на довжину лінії

$$M = P \cdot l, \quad (7.14)$$

$C$  – коефіцієнт визначається за табл. [4].

При розрахунку розгалуженої освітлювальної мережі загальну допустиму втрату напруги необхідно розподілити між ділянками мережі по мінімуму провідникового матеріалу. Перетин кожної ділянки визначається по  $\Delta U_{\text{доп}}$ , наявної втрати напруги від початку даної ділянки і приведеному моменту:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n M + \alpha \cdot \sum_{j=1}^m m}{C \cdot \Delta U}, \quad (7.15)$$

де  $\sum_{i=1}^n M + \alpha \cdot \sum_{j=1}^m m$  – приведений момент, кВт·м;

$\alpha$  – коефіцієнт приведення моментів;

$\sum_{i=1}^n M$  – сума моментів даного і всіх наступних за напрямком струму ділянок з тим же числом проводів, що і на даній ділянці;

$\alpha \cdot \sum_{j=1}^m m$  – сума моментів ліній, що живляться через дану ділянку з іншою кількістю проводів, ніж на даній ділянці.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	77

Після вибору проводів за умовою допустимих втрат напруги, перетин лінії необхідно перевірити за умовою нагріву:

$$I_{\text{кл}} < I_{\text{доп}}, \quad (7.16)$$

Згідно розрахунку проведеного у розділі 2.3 дипломного проекту, освітлювальне навантаження ремонтномеханічного цеху складало:  $P_{\Sigma} = 23$  кВт,  $Q_{\Sigma} = 39,9$  квар,  $S_{\Sigma} = 46,1$  кВ·А. Живлення освітлювального щитка здійснюється від силового пункту СП-8. Світильники розміщуємо у 6 рядів на колонах. У світильниках типу РСП-04В-250-523 використовуються ртутні лампи високого тиску ДРЛ-250. Тоді навантаження одного ряду складе:

$$P_i = \frac{P_{\Sigma}}{n_1 \cdot n_2} = \frac{23}{6} = 3,83 \text{ кВт.}$$

де  $n_1$  – кількість рядів світильників;  $n_2$  – кількість джерел живлення освітлювальних щитків.

Кількість світильників у одному ряді:

$$n = P_i / P_{\text{л}} = \frac{3,83}{0,25} = 16 \text{ шт.},$$

де  $P_{\text{л}}$  – потужність лампи, кВт.

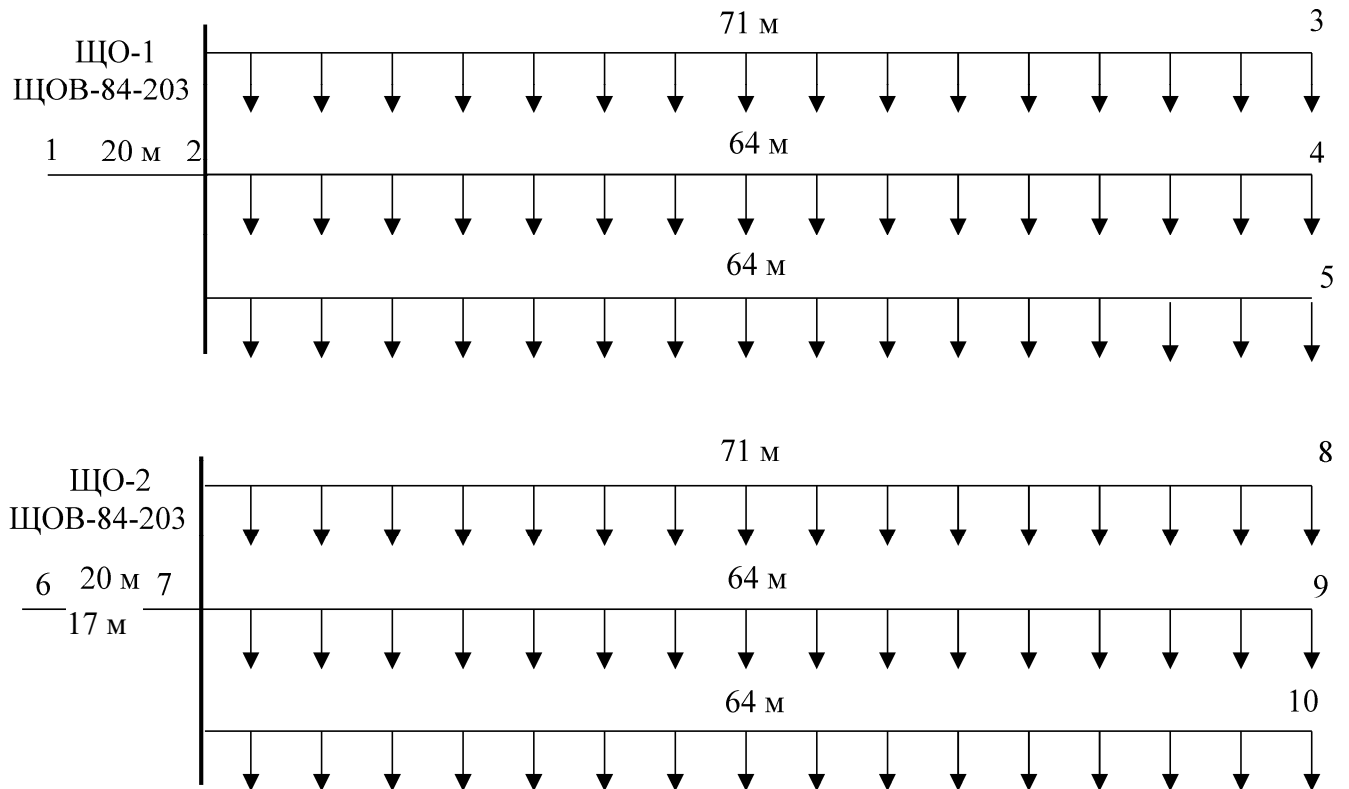


Рисунок 7.3 – Схема освітлювальної мережі ремонтно-механічного цеху

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		78

Повна потужність ламп ряду:

$$S = \sqrt{P^2 + (Ptg\varphi)^2} = \sqrt{3,83^2 + (3,83 \cdot 1,73)^2} = 7,7 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Втрата напруги у групових лініях

- 1-2 (КЛ-3.1, від СП-3)

$$\Delta U_{\text{кл}3} = \frac{(r_0 + x_0 t g \varphi) P \cdot l_{\text{кл}3}}{10 U_1^2} = \frac{(0,95 + 0,06 \cdot 0,6) \cdot 39,5 \cdot 0,072}{10 \cdot 0,396^2} = 1,8 \%$$

- 6-7 (КЛ-8.1, від СП-8)

$$\Delta U_{\text{кл}8} = \frac{(r_0 + x_0 \cdot t g \varphi) \cdot P \cdot l_{\text{кл}8}}{10 U_1^2} = \frac{(0,48 + 0,06 \cdot 1,07) \cdot 55,1 \cdot 0,042}{10 \cdot 0,396^2} = 0,81 \%$$

Отже, наявна втрата напруги у точці приєднання групових ліній складе:

$$U_{\text{доп}12} = 4,3 + (-1,8) = 2,5 \%$$

$$U_{\text{доп}67} = 4,3 + (-0,8) = 3,5 \%$$

Для 4-ри провідної мережі 380/220 В коефіцієнт  $C = 44$ , для двопроводної  $C = 7,4$ , коефіцієнт  $\alpha = 1,85$ , для 2-ї лінії з однофазним відгалуженням [4].

Моменти ліній складуть (рис. 7.3)

$$M_{12} = M_{67} = l_{12} \cdot \sum S_i = 20 \cdot 3 \cdot 7,7 = 462 \text{ кВ}\cdot\text{А}\cdot\text{м};$$

$$M_{67} = l_{67} \cdot \sum S_i = 17 \cdot 3 \cdot 7,7 = 392,7 \text{ кВ}\cdot\text{А}\cdot\text{м};$$

$$M_{23} = M_{78} = l_{23} \cdot S_i = 71 \cdot 7,7 = 546,7 \text{ кВ}\cdot\text{А}\cdot\text{м};$$

$$M_{24} = M_{25} = M_{79} = M_{7-10} = l_{24} \cdot S_i = 64 \cdot 7,7 = 492,8 \text{ кВ}\cdot\text{А}\cdot\text{м}.$$

Перетин проводу ліній

$$F_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n M + \alpha \sum_{j=1}^m m}{C \cdot \Delta U} = \frac{462 + 1,85 \cdot (546,7 + 2 \cdot 492,8)}{44 \cdot 2,5} = 30 \text{ мм}^2;$$

$$F_{67} = \frac{\sum_{i=1}^n M + \alpha \sum_{j=1}^m m}{C \cdot \Delta U} = \frac{392,7 + 1,85(546,7 + 2 \cdot 492,8)}{44 \cdot 3,5} = 29,3 \text{ мм}^2.$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		79

Приймаємо стандартне значення  $35 \text{ мм}^2$ , тоді дійсна втрата напруги складе

$$\Delta U_{12} = \frac{M_{12}}{C \cdot F_{12}} = \frac{462}{44 \cdot 35} = 0,3\%;$$

$$\Delta U_{67} = \frac{M_{67}}{C \cdot F_{67}} = \frac{392,7}{44 \cdot 35} = 0,26\%.$$

Допустимі втрати напруги на ділянках:

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{12} = 2,5 - 0,3 = 2,2\%;$$

$$\Delta U_{78} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{12} = 3,5 - 0,26 = 3,24\%,$$

переріз проводів цих ділянок:

$$F_{23} = \frac{M_{23}}{C \cdot \Delta U_{23}} = \frac{546,7}{7,4 \cdot 2,2} = 33,5 \text{ мм}^2;$$

$$F_{24} = F_{25} = \frac{M_{24}}{C \cdot \Delta U_{23}} = \frac{492,8}{7,4 \cdot 2,2} = 30,3 \text{ мм}^2;$$

$$F_{78} = \frac{M_{78}}{C \cdot \Delta U_{67}} = \frac{546,7}{7,4 \cdot 3,24} = 22,8 \text{ мм}^2;$$

$$F_{79} = F_{7-10} = \frac{M_{79}}{C \cdot \Delta U_{67}} = \frac{492,8}{7,4 \cdot 3,24} = 20,6 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо найближчі стандартні перерізи кабелю для лінії 1- 2, 6-7:  $35 \text{ мм}^2$ ; та проводів для ліній 2-3, 2-4, 2-5:  $35 \text{ мм}^2$ ; 7-8, 7-9, 7-10:  $25 \text{ мм}^2$ .

Перевірка за допустимим струмом:

$$I_{12} = I_{67} = 35 < I_{\text{доп}} = 90 \text{ А};$$

$$I_{23} = I_{24} = I_{25} = 35 < I_{\text{доп}} = 130 \text{ А};$$

$$I_{78} = I_{79} = I_{7-10} = 35 < I_{\text{доп}} = 105 \text{ А},$$

де  $I_{23}, I_{23}$  – розрахункові струми у лініях:

$$I_{12} = I_{67} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{23}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 35 \text{ А};$$

$$I_{23} = \frac{S_{23}}{U_{\phi}} = \frac{7,7}{0,22} = 35 \text{ А},$$

$I_{\text{доп}}$  – допустимий струм, приймаємо згідно [1], для кабелю та проводів прокладених відкрито.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		80

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі розроблено комплексний проєкт системи електропостачання для підприємства сільськогосподарського машинобудування. На основі аналізу виробничих процесів та з використанням методу впорядкованих діаграм визначено розрахункове навантаження на шинах головної понижувальної підстанції (ГПП), яке склало 13,8 МВт та 13,6 МВАр.

Проведено техніко-економічне порівняння двох варіантів зовнішнього електропостачання: живлення на напрузі 10 кВ від підстанції енергосистеми та на напрузі 35 кВ зі спорудженням власної ГЗП. За критерієм мінімуму приведених витрат обґрунтовано вибір варіанту живлення на напрузі 35 кВ, що передбачає будівництво двотрансформаторної ГЗП на території заводу.

Для забезпечення оптимального режиму роботи мережі розроблено заходи з компенсації реактивної потужності, що поєднують використання генерації реактивної потужності синхронними двигунами компресорної станції та встановлення конденсаторних установок. На основі розрахунків струмів короткого замикання здійснено обґрунтований вибір основного високовольтного обладнання, зокрема вакуумних вимикачів, трансформаторів струму, роз'єднувачів та захисних апаратів.

У рамках роботи також виконано детальне проєктування внутрішніх силових та освітлювальних мереж для ремонтно-механічного цеху. Для цього підрозділу розроблено радіальну схему живлення, обрано розподільчі пункти серії ПР8500 та визначено перерізи кабельних ліній, що живлять технологічне обладнання.

Таким чином, представлені в роботі проєктні рішення комплексно вирішують задачу побудови надійної та економічно доцільної системи електропостачання, що відповідає сучасним технічним вимогам та забезпечує умови для стабільної роботи промислового підприємства.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		81

## ЛІТЕРАТУРА

1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
2. Василега П. О. Електропостачання: підручник / П. О. Василега. – Суми: Сумський державний університет, 2019. – 521 с.
3. Бурбело М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків: навчальний посібник / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 204 с.
4. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Основи електроенергетики та електропостачання / А. А. Маліновський, Б. К. Хохулін – Львів: Видавництво національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 436 с.
5. Бурбело М. Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання : навчальний посібник / М. Й. Бурбело– Вінниця : ВНТУ, 2017. – 122 с.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування / В. Г. Рудницький – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 153 с.
7. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів./ Г. Г. Півняк, В. М. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен / За ред. Г. Г. Півняка – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002.
8. Перехідні процеси в системах електропостачання: / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. – Харків: ТОВ «В справі», 2016. – 260 с.
9. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський та ін. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 274 с.
10. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. 194 с.
11. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роб. для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад.: П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш та ін.]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					82

## **ДОДАТКИ**

## Додаток А.

### Вибір високовольтного обладнання

#### А.1 Вибір високовольтних вимикачів

##### А.1.1. Вибір ввідного вимикача ЗРУ 10 кВ

Попередньо приймаємо в якості ввідного вимикача ВР1-10-20/1000У2.

Перевірка правильності вибору вимикача представлена в табл. А.1.

Таблиця А.1. Вибір ввідного вимикача ЗРУ 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{макс}} = 12 \text{ кВ}$
$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{\text{ном}} \cdot n} = \frac{13894}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 2} = 382 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$I_{\text{макс}} = k_{\text{ап}} \cdot I_p = 2 \cdot 382 = 764 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$I'' = 6,2 \text{ кА}$	$I_{\text{вим.ном}} = 20 \text{ кА}$
$i_{\text{а.т}} = \sqrt{2} I'' e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 6,2 e^{-0,052/0,029} = 1,5 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \frac{\beta_{\text{норм}}}{100} I_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \cdot 20 = 11,3 \text{ кА}$
$I_{n\tau} \approx I'' = 6,2 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 20 \text{ кА}$
$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} k_y \cdot I'' = \sqrt{2} \cdot 1,708 \cdot 6,2 = 15 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20 = 50,9 \text{ кА}$
$B_k = I''^2 (t_b + T_a) =$ $= 6,2^2 (1,542 + 0,029) = 60,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{\text{н.т}}^2 \cdot t_{\text{т.н}} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

де  $\tau$  – найменший час від початку КЗ до моменту розходження дугогасильних контактів:

$$\tau = t_{\text{рз.мін}} + t_{\text{в.ч}} = 0,01 + 0,042 = 0,052 \text{ с};$$

$t_b$  – максимальний час відключення вимикача:

$$t_b = t_{\text{в.ч}} + t_{\text{рз.макс}} = 0,042 + 1,5 = 1,542 \text{ с.}$$

$i_{\text{ат}}$  – аперіодична складова струму КЗ для моменту часу  $\tau$ :

Отже, попередньо вибраний вимикач типу ВР1-10-20/1000У2 задовольняє всім умовам вибору, тому приймаємо його до встановлення.

## А1.2. Вибір секційного вимикача ЗРУ 10 кВ

Попередньо вибираємо в якості секційного, вимикач типу ВР1-10-20/630У2.

Перевірка правильності вибору вимикача представлена в табл. А.1.

Таблиця А.2. Вибір секційного вимикача ЗРУ 10 кВ

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{13894}{2\sqrt{3} \cdot 10,5} = 382 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I_{p,маx} = 382 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$
$I'' = 6,2 \text{ кА}$	$I_{вим.ном} = 20 \text{ кА}$
$i_{a,\tau} = \sqrt{2}I'' \cdot e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 6,2 \cdot e^{-0,052/0,029} = 1,5 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \frac{\beta_{норм}}{100} I_{дин} = \sqrt{2} \frac{40}{100} 20 = 11,3 \text{ кА}$
$I_{пт} \approx I'' = 6,2 \text{ кА}$	$I_{дин} = 20 \text{ кА}$
$i_{yd} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I'' = \sqrt{2} \cdot 1,708 \cdot 6,2 = 15 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{дин} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20 = 50,9 \text{ кА}$
$B_k = I''^2 (t_b + T_a) =$ $= 6,2^2 (1,042 + 0,029) = 41,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{н.т}^2 \cdot t_{т.н} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

де  $t_b$  – повний час відключення вимикача:

$$t_b = t_{в.ч} + t_{рз,макс} = 0,042 + 1,0 = 1,042 \text{ с.}$$

Отже, попередньо вибраний вимикач типу ВР1-10-20/630У2 задовольняє всім умовам вибору, тому приймаємо його до установки.

Вибір лінійних вимикачів ЗРУ 10 кВ не проводиться, оскільки струми КЗ за ними такі ж, як і за ввідним і вимикачі серії ВР1 має найнижчий номінальний струм. Тому приймаємо у якості лінійних також вимикачі ВР1-10-20/630У2.

## А.2 Вибір вимірювальних трансформаторів

### А.2.1. Вибір трансформаторів струму

Таблиця А.3. Місця встановлення та потужність навантажень ТС

Прилади	Місце установки приладів					
	Ввід ЦРУ, СВ			Лінійні шафи		
	Навантаження В·А			Навантаження В·А		
	А	В	С	А	В	С
Лічильник NIK 2307	-	-	-	0,05	-	0,05
Амперметр Е-377	0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,1
Всього	0,1	0,1	0,1	0,15	-	0,15

Таблиця А.4. Вторинне навантаження ТС

Призначення ТС	Розрахункові величини						
	$r_{\text{прил}}, \text{Ом}$	$r'_{\text{пр}}, \text{Ом}$	$s, \text{мм}^2$	$l_{\text{роз}}, \text{м}$	$l, \text{м}$	$r_{\text{пр}}, \text{Ом}$	$Z_2, \text{Ом}$
Ввідна шафа ЦРУ	0,004	1,146	4,0	6	10,4	0,074	0,128
Секційна шафа	0,004	1,146	4,0	6	10,4	0,074	0,128
Лінійні шафи	0,006	1,144	4,0	4	7,0	0,05	0,106

Таблиця А.5. Вибір трансформаторів струму

Умова вибору	Од. вим.	Призначення ТС			
		ввід ВРУ 35 кВ	ввід ЗРУ 10 кВ	лінійний (КЛЗ, 5, 7, 9, 11, 13, 16, 18)	лінійний (КЛ20-24)
$U_{\text{уст}} < U_{\text{макс}}$	кВ	$36,8 < 40,5$	$10,5 < 12$	$10,5 < 12$	$10,5 < 12$
$I_{\text{р}} < I_{\text{ном}}$	А	$111 < 300$	$382 < 800$	$80,1 < 200$	$42,9 < 50$
$I_{\text{ав}} < I_{\text{ном}}$	А	$222 < 300$	$764 < 800$	$200 = 200$	$42,9 < 50$
Клас точності	-	1,0	1,0	1,0	1,0
$i_{\text{уд}} < i_{\text{дин}}$	кА	$13,6 < 81$	$15,0 < 81$	$15,0 < 52$	$15,0 < 25$
$B_{\text{кр}} < B_{\text{к.н}}$	кА <sup>2</sup> ·с	$56,5 < 31^2 \cdot 3 = 2833$	$60,4 < 31,5^2 \cdot 3 = 2977$	$41,1 < 20^2 \cdot 1 = 400$	$41,1 < 8^2 \cdot 1 = 64$
$Z_2 < Z_{\text{ном}}$	Ом	$0,91 < 0,4$	$0,128 < 0,4$	$0,106 < 0,4$	$0,106 < 0,4$
Тип ТС	-	ТФЗМ-35Б-І/300/5	ТЛК-10-1/800/5	ТЛК-10-1/200/5	ТЛК-10-1/50/5

## А.2.2. Вибір ТН 10 кВ

Перелік необхідних приладів для встановлення на одній системі шин прийнято згідно [11]. На ЗРП встановлюються шафи серії КУ-10Ц, тому приймаємо до розгляду трансформатор напруги (ТН) типу НАМІ-10. Розрахунок вторинного навантаження ТН приведений у табл. А.6, а вибір у табл. А.7.

Таблиця А.6. Вторинне навантаження ТН

Прилад	Тип	$S_{\text{ном}},$ В·А	Кількість приладів	Загальна споживана потужність, В·А
Лічильник енергії	НИК 2307	10	7	70
Вольтметр	Е377	2	1	2
Всього				72

Таблиця А.7. Вибір трансформатора напруги

Умова вибору	Од. вим.	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$	кВ	$U_{\text{уст}} = 10, \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10, \text{ кВ}$
Схема з'єднань:	-	$Y_0/Y_0/\Delta-0$	$Y_0/Y_0/\Delta-0$
Клас точності:	-	0,5	0,5
$S_p \leq S_{\text{ном}}$	В·А	$S_p = 72$	$S_{\text{ном}} = 120$

Таким чином, попередньо вибраний трансформатор напруги задовольняє всім умовам вибору, тому приймаємо до установки ТН – НАМІ-10-66УЗ.

**Додаток Б.**  
**Вибір низьковольтного обладнання**

**Таблиця Б.1. Вибір кабельних ліній внутрішньої мережі ремонтно-механічного цеху**

№ п/п	Назва	$P_p$ , кВт	КПД	$\cos \varphi$	$I_p < I_{доп}, A$	Тип і перетин проводу	$L$ , м	$r_o$ , МОм/м	$x_o$ , МОм/м	$z_o$ , МОм/м	$\Delta U_{доп}, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	<b>СП-1 (ввід)</b>	25,2		0,8135	42,3 < 69	АПВБГ-(3x25)+1x16	90,0	1,33	0,07	3,7	2,16
1	Вертикально-фрезерний верстат	6,9	0,86	0,50	24,4 < 28	АПВ-3(1x6)+1x4	14,0	8,35	0,10	24,08	0,57
2	Вертикально-фрезерний верстат	10,0	0,87	0,50	34,9 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	9,0	3,33	0,07	9,88	0,22
3	Токарновинторізний верстат	13,0	0,87	0,55	41,3 < 60	АПВ-3(1x16)+1x10	5,0	2,08	0,07	4,43	0,10
4	Вертикально-фрезерний верстат	13,0	0,87	0,55	41,3 < 60	АПВ-3(1x16)+1x10	6,0	3,33	0,07	4,43	0,19
5	Токарновинторізний верстат	14,0	0,87	0,50	48,9 < 60	АПВ-3(1x16)+1x10	3,0	2,08	0,07	4,43	0,06
6	Токарновинторізний верстат	11,0	0,87	0,50	38,4 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	2,0	3,33	0,07	9,88	0,05
7	Токарновинторізний верстат	11,0	0,87	0,50	38,4 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	5,0	3,33	0,07	9,88	0,13
8	Токарновинторізний верстат	11,0	0,87	0,50	38,4 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	8,0	3,33	0,07	9,88	0,21
9	Токарновинторізний верстат	13,8	0,87	0,60	40,2 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	10,0	3,33	0,07	9,88	0,33
B1	Вентилятор	11,0	0,88	0,90	21,1 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2,5	16,0	8,35	0,10	24,08	1,02
	<b>СП-2 (ввід)</b>	25,5		0,8326	46,4 < 69	АПВБГ-(3x25)+1x16	71	1,33	0,07	3,7	1,72
10	Токарновинторізний верстат	12,9	0,87	0,54	41,7 < 60	АПВ-3(1x16)+1x10	7,0	2,08	0,07	4,43	0,14
11	Токарновинторізний верстат	10,0	0,87	0,50	34,9 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	4,0	3,33	0,07	9,88	0,10
12	Токарновинторізний верстат	10,0	0,87	0,50	34,9 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	1,0	3,33	0,07	9,88	0,02
13	Токарновинторізний верстат	12,9	0,87	0,54	41,7 < 60	АПВ-3(1x16)+1x10	2,0	2,08	0,07	4,43	0,04
14	Токарновинторізний верстат	11,2	0,85	0,50	40,0 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	5,0	3,33	0,07	9,88	0,13
15	Токарновинторізний верстат	11,0	0,85	0,50	39,3 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	6,0	3,33	0,07	9,88	0,16
16	Токарновинторізний верстат	11,2	0,85	0,50	40,0 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	10,0	3,33	0,07	9,88	0,27
17	Кран-балка ТВ=40%	3,0	0,82	0,50	11,1 < 19	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	5,0	13,30	0,10	30,00	0,14
B3	Вентилятор	11,0	0,88	0,90	21,1 < 28	АПВ-3(1x6)+1x4	13,0	5,55	0,09	15,43	0,55

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	<b>СП-3 (ввід)</b>	39,5		0,859	73,8 < 83	АПВБГ-(3x35)+1x16	72,0	0,95	0,06	3,35	1,94
18	Поперечно-строгальний верстат	5,5	0,85	0,50	19,7 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2.5	9,0	8,35	0,10	24,08	0,29
19	Поперечно-строгальний верстат	5,5	0,85	0,50	19,7 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2.5	7,0	8,35	0,10	24,08	0,23
20	Поперечно-строгальний верстат	5,5	0,85	0,50	19,7 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2.5	4,0	8,35	0,10	24,08	0,13
21	Токарно-винторізний верстат	12,9	0,87	0,54	41,7 < 60	АПВ-3(1x16)+1x10	2,0	2,08	0,07	4,43	0,04
22	Токарно-винторізний верстат	11,0	0,86	0,50	38,9 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	2,0	3,33	0,07	9,88	0,05
23	Токарно-винторізний верстат	10,0	0,85	0,50	35,7 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	4,0	3,33	0,07	9,88	0,10
24	Кран	3,0	0,82	0,50	11,1 < 19	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	4,0	13,30	0,10	30,00	0,11
В2	Вентилятор	11,0	0,88	0,90	21,1 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2.5	13,0	8,35	0,10	24,08	0,83
В5	Вентилятор	5,5	0,86	0,86	11,3 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2.5	14,0	8,35	0,10	24,08	0,45
В6	Вентилятор	5,5	0,86	0,86	11,3 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2.5	16,0	8,35	0,10	24,08	0,51
	<b>СП-4 (ввід)</b>	34,1		0,905	62,4 < 69	АПВБГ-(3x25)+1x16	98,0	1,33	0,07	3,70	3,16
25	Шліцефрезерний верстат	22,0	0,87	0,65	59,1 < 80	АПВ-3(1x25)+1x16	7,0	1,33	0,07	3,70	0,15
26	Шліцефрезерний верстат	22,0	0,87	0,65	59,1 < 80	АПВ-3(1x25)+1x16	3,0	1,33	0,07	3,70	0,06
27	Зубофрезерний верстат	3,4	0,82	0,50	12,6 < 19	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	2,0	13,30	0,10	2,50	0,06
28	Зубодольбальний верстат	9,0	0,84	0,50	32,6 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	3,0	3,33	0,07	9,88	0,06
29	Універсальний фрезерний	7,0	0,83	0,50	25,6 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2.5	5,0	8,35	0,10	24,08	0,21
В4	Вентилятор	5,5	0,90	0,86	10,8 < 19	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	11,0	13,30	0,10	30,00	0,56
	<b>СП-5 (ввід)</b>	34,3	1,00	0,834	60,8 < 69	АПВБГ-(3x25)+1x16	85,0	1,33	0,07	3,70	2,78
30	Зуборізний верстат	5,2	0,80	0,50	19,8 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2.5	3,0	8,35	0,10	24,08	0,09
31	Зубострогальний верстат	2,8	0,80	0,50	10,6 < 19	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	2,0	8,35	0,10	30,00	0,03
32	Зубофрезерний верстат	12,0	0,86	0,55	38,5 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	6,0	3,33	0,07	9,88	0,17
33	Зубофрезерний верстат	12,0	0,86	0,55	38,5 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	4,0	3,33	0,07	9,88	0,11
34	Вертикально-фрезерний верстат	7,5	0,83	0,60	22,9 < 32	АПВ-3(1x4)+1x2.5	7,0	8,35	0,10	24,08	0,31
35	Вертикально-фрезерний верстат	1,7	0,80	0,50	6,5 < 19	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	10,0	13,30	0,10	30,00	0,16
В7	Вентилятор	5,5	0,86	0,86	11,3 < 19	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	8,0	13,30	0,10	30,00	0,41

Продовження табл. Б.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	<b>СП-6 (ввід)</b>	44,5	1,00	0,76	77,4 < 83	АПВБГ-(3x35)+1x16	70,0	0,95	0,06	3,35	2,16
36	Гідростенд	22,0	0,88	0,77	49,3 < 60	АПВ-3(1x16)+1x10	6,0	2,08	0,07	4,43	0,20
37	Точильно-шліфувальний верстат	2,1	0,80	0,50	8,0 < 19	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	4,0	13,30	0,10	24,08	0,08
38	Точильно-шліфувальний верстат	2,8	0,80	0,50	10,6 < 19	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	3,0	13,30	0,10	24,08	0,08
39	Вертикально-фрезерний верстат	10,0	0,84	0,53	34,1 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	5,0	3,33	0,07	9,88	0,12
40	Точильно-шліфувальний верстат	1,0	0,74	0,50	4,1 < 19	АПВ-3(1x2,5)+1x2,6	1,5	13,30	0,10	30,00	0,01
41	Внутрішньо-шліфувальний верстат	10,0	0,84	0,53	34,1 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	3,0	3,33	0,07	9,88	0,07
42	Внутрішньо-шліфувальний верстат	10,0	0,84	0,53	34,1 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	4,0	3,33	0,07	9,88	0,10
В8	Вентилятор	11,0	0,88	0,87	21,8 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2,5	9,0	8,35	0,10	24,08	0,58
	<b>СП-7 (ввід)</b>	44,6	1,00	0,875	77,6 < 83	АПВБГ-(3x35)+1x16	57,0	0,95	0,06	3,35	1,73
43	Гідростенд	22,0	0,88	0,77	49,3 < 60	АПВ-3(1x16)+1x10	9,0	2,08	0,07	4,43	0,29
44	Точильно-шліфувальний верстат	2,1	0,80	0,50	8,0 < 19	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	4,0	13,30	0,10	30,00	0,08
45	Точильно-шліфувальний верстат	2,8	0,80	0,50	10,6 < 19	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	3,0	13,30	0,10	30,00	0,08
46	Вертикально-фрезерний верстат	10,0	0,84	0,53	34,1 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	5,0	3,33	0,07	9,88	0,12
47	Точильно-шліфувальний верстат	1,0	0,74	0,50	4,1 < 19	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	2,0	13,30	0,10	30,00	0,02
48	Внутрішньо-шліфувальний верстат	10,0	0,84	0,53	34,1 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	3,0	3,33	0,07	9,88	0,07
49	Круглошліфувальний верстат	10,0	0,85	0,65	27,5 < 47	АПВ-3(1x10)+1x6	5,0	3,33	0,07	9,88	0,12
В9	Вентилятор	11,0	0,88	0,87	21,8 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2,5	9,0	8,35	0,10	24,08	0,58
	<b>СП-8 (ввід)</b>	55,4	1,00	0,683	123,5 < 129	АПВБГ-(3x70)+1x35	42,0	0,48	0,06	3,35	0,88
ЩО-1	Щиток освітлювальний	11,5	1,00	0,50	35,0 < 90	АПВБГ-(3x35)+1x16	17,0	0,95	0,06	3,70	0,14
50	Плоскошліфувальний верстат	16,0	0,87	0,55	50,8 < 60	АПВ-3(1x25)+1x16	8,0	3,33	0,07	3,70	0,30
51	Круглошліфувальний верстат	18,5	0,87	0,56	57,7 < 80	АПВ-3(1x25)+1x16	6,0	1,33	0,07	3,70	0,11
52	Плоскошліфувальний верстат	4,9	0,82	0,52	17,5 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2,5	2,0	8,35	0,10	24,08	0,06
53	Свердильний верстат	4,0	0,82	0,52	14,3 < 19	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	5,0	13,30	0,10	30,00	0,19
54	Плоскошліфувальний верстат	8,0	0,88	0,54	25,7 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2,5	3,0	8,35	0,10	24,08	0,14
55	Свердильний верстат	0,6	0,70	0,50	2,6 < 19	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	5,0	13,30	0,10	30,00	0,03
56	Кран	6,0	0,82	0,50	22,2 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2,5	5,0	8,35	0,10	24,08	0,18
В10	Вентилятор	11,0	0,88	0,87	21,8 < 28	АПВ-3(1x4)+1x2,5	9,0	8,35	0,10	24,08	0,58

Таблиця Б.2. Вибір автоматичних вимикачів

№ ЕП на плані цеху	Споживач	I <sub>р</sub> , А	Тип автомата	Ном. параметри автомата, А		Уставки розчіплювачів, А		Перевірка умов
				I <sub>н,взм</sub>	I <sub>н,роз</sub>	I <sub>у,тр</sub>	I <sub>у,ел</sub>	
1	2	3	4	5	7	8	9	10
Q1	Ввід ТП-3	1521,1	ВА55-43	1600	1600	2000	6400	18,60 > 4,80
	СП-1 (ввід)	42,3	ВА-04-36	250,0	50,0	62,5	750,0	638 > 187,5
1	Вертикально-фрезерний верстат	24,4	АЕ2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	323 > 75,0
2	Вертикально-фрезерний верстат	34,9	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	507 > 120,0
3	Токарновинторізний верстат	41,3	АЕ2046МП	63,0	50,0	62,5	750,0	600 > 150,0
4	Вертикально-фрезерний верстат	41,3	АЕ2046МП	63,0	50,0	62,5	750,0	592 > 150,0
5	Токарновинторізний верстат	48,9	АЕ2046МП	63,0	50,0	62,5	750,0	614 > 150,0
6	Токарновинторізний верстат	38,4	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	603 > 120,0
7	Токарновинторізний верстат	38,4	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	558 > 120,0
8	Токарновинторізний верстат	38,4	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	519 > 120,0
9	Токарновинторізний верстат	40,2	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	496 > 120,0
В1	Вентилятор	21,1	АЕ2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	301 > 75,0
	<b>СП-2 (ввід)</b>	46,4	ВА-04-36	250,0	50,0	62,5	1000,0	801,4 > 187,5
10	Токарновинторізний верстат	41,7	АЕ2046МП	63,0	50,0	62,5	750,0	693,2 > 150,0
11	Токарновинторізний верстат	34,9	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	596,7 > 120,0
12	Токарновинторізний верстат	34,9	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	563,5 > 120,0
13	Токарновинторізний верстат	41,7	АЕ2046МП	63,0	50,0	62,5	750,0	535,2 > 150,0
14	Токарновинторізний верстат	40,0	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	465,8 > 120,0
15	Токарновинторізний верстат	39,3	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	404,9 > 120,0
16	Токарновинторізний верстат	40,0	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	336,4 > 120,0
17	Кран-балка ТВ=40%	11,1	АЕ2046МП	63,0	12,5	15,6	187,5	269,7 > 37,5
В3	Вентилятор	21,1	АЕ2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	214,0 > 75,0

Продовження табл. Б.2.

1	2	3	4	5	7	8	9,0	10
	<b>СП-3 (ввід)</b>							
18	Поперечно-строгальний верстат	73,8	ВА-04-36	250	63	78,8	750,0	869,5 > 189,0
19	Поперечно-строгальний верстат	19,7	АЕ2046МП	63,0	20,0	25,0	300,0	456,8 > 75,0
20	Поперечно-строгальний верстат	19,7	АЕ2046МП	63,0	20,0	25,0	300,0	507,6 > 60,0
21	Поперечно-строгальний верстат	19,7	АЕ2046МП	63,0	20,0	25,0	300,0	609,1 > 60,0
22	Токарно-винторізний верстат	41,7	АЕ2046МП	63,0	50,0	62,5	750,0	803,8 > 150,0
23	Токарно-винторізний верстат	38,9	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	773,0 > 120,0
24	Токарно-винторізний верстат	35,7	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	722,8 > 120,0
В2	Кран	11,1	АЕ2046МП	63,0	12,5	15,6	187,5	571,7 > 37,5
В5	Вентилятор	21,1	АЕ2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	380,7 > 75,0
В6	Вентилятор	11,3	АЕ2046МП	63,0	12,5	15,6	187,5	365,5 > 37,5
	Вентилятор	11,3	АЕ2046МП	63,0	12,5	15,6	187,5	344,7 > 37,5
	<b>СП-4 (ввід)</b>							
25	Шліцефрезерний верстат	62,4	ВА-04-36	250,0	50	62,5	750	587,6 > 150,0
26	Шліцефрезерний верстат	59,1	АЕ2046МП	63,0	63,0	78,8	945,0	533,8 > 236,3
27	Шліцефрезерний верстат	59,1	АЕ2046МП	63,0	63,0	78,8	945,0	553,7 > 189,0
28	Зубофрезерний верстат	12,6	АЕ2046МП	63,0	16,0	20,0	240,0	562,3 > 48,0
29	Зубодольбальний верстат	32,6	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	529,0 > 120,0
В4	Універсальний фрезерний верстат	25,6	АЕ2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	434,2 > 75,0
	Вентилятор	10,8	АЕ2046МП	63,0	12,5	15,6	187,5	307,2 > 37,5
	<b>СП-5 (ввід)</b>							
30	Зуборізний верстат	60,8	ВА-04-36	250,0	50	62,5	750	674,2 > 150,0
31	Зубострогальний верстат	19,8	АЕ2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	536,1 > 93,8
32	Зубофрезерний верстат	10,6	АЕ2046МП	63,0	12,5	15,6	187,5	552,6 > 37,5
33	Зубофрезерний верстат	38,5	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	553,6 > 120,0
34	Зубофрезерний верстат	38,5	АЕ2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	582,5 > 120,0
35	Вертикально-фрезерний верстат	22,9	АЕ2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	434,2 > 75,0
В7	Вертикально-фрезерний верстат	6,5	АЕ2046МП	63,0	10,0	12,5	150,0	344,8 > 30,0
	Вентилятор	11,3	АЕ2046МП	63,0	12,5	15,6	187,5	320,7 > 37,5

Продовження табл. Б.2.

1	2	3	4	5	7	8	9	10
	<b>СП-6 (ввід)</b>	77,38	BA-04-36	250,0	80,0	100,0	1000	893,1 > 240,0
36	Гідростенд	49,329	AE2046МП	63,0	50,0	62,5	750,0	772,7 > 187,5
37	Точильно-шліфувальний верстат	7,9765	AE2046МП	63,0	10,0	12,5	150,0	620,7 > 30,0
38	Точильно-шліфувальний верстат	10,635	AE2046МП	63,0	12,5	15,6	187,5	665,9 > 37,5
39	Вертикально-фрезерний верстат	34,127	AE2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	715,4 > 120,0
40	Точильно-шліфувальний верстат	4,1063	AE2046МП	63,0	10,0	12,5	150,0	725,7 > 30,0
41	Внутрішньо-шліфувальний верстат	34,127	AE2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	764,5 > 120,0
42	Внутрішньо-шліфувальний верстат	34,127	AE2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	739,1 > 120,0
B8	Вентилятор	21,83	AE2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	463,3 > 75,0
	<b>СП-7 (ввід)</b>	77,616	BA-04-36	250,0	80,0	100,0	1000	1085 > 240,0
43	Гідростенд	49,329	AE2046МП	63,0	50,0	62,5	750,0	865 > 187,5
44	Точильно-шліфувальний верстат	7,9765	AE2046МП	63,0	10,0	12,5	150,0	658 > 30,0
45	Точильно-шліфувальний верстат	10,635	AE2046МП	63,0	16,0	20,0	240,0	722 > 48,0
46	Вертикально-фрезерний верстат	34,127	AE2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	833 > 120,0
47	Точильно-шліфувальний верстат	4,1063	AE2046МП	63,0	10,0	12,5	150,0	801 > 30,0
48	Внутрішньо-шліфувальний верстат	34,127	AE2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	901 > 120,0
49	Круглошліфувальний верстат	27,499	AE2046МП	63,0	31,5	39,4	472,5	833 > 94,5
B9	Вентилятор	21,83	AE2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	510 > 75,0
	<b>СП-8 (ввід)</b>	123,49	BA-04-36	250,0	125,0	156,3	1875,0	1442 > 375,0
ЩО-1	Щиток освітлювальний	34,992	AE2046МП	63,0	40,0	50,0	600,0	968,1 > 150,0
50	Плоскошліфувальний верстат	50,804	AE2046МП	63,0	50,0	62,5	750,0	1134 > 150,0
51	Круглошліфувальний верстат	57,693	AE2046МП	63,0	63,0	78,8	945,0	1179 > 189,0
52	Плоскошліфувальний верстат	17,46	AE2046МП	63,0	20,0	25,0	300,0	1035 > 60,0
53	Свердильний верстат	14,253	AE2046МП	63,0	16,0	20,0	240,0	699,9 > 48,0
54	Плоскошліфувальний верстат	25,724	AE2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	929,9 > 75,0
55	Свердильний верстат	2,6046	AE2046МП	63,0	6,3	7,9	94,5	699,9 > 18,9
56	Кран	22,234	AE2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	772,6 > 75,0
B10	Вентилятор	21,83	AE2046МП	63,0	25,0	31,3	375,0	577,3 > 75,0

Таблиця Б.3. Перевірка силових ліній на відповідність захисному пристрою, вибір труб

№ спож	Словивач	$I_p, A$	Тип лінії	Перевірка умови $k_{np} \cdot I_{доп} \geq k_{зах} \cdot I_3$	Довжина лінії, м	Складність траси	Умовний прохід труби, мм
1	2		4	5	6	7	8
	СП-1				90,0	-	-
1	Вертикально-фрезерний верстат	42,3	АПВБГ-(3x25)+1x16	69 > 50,0			
2	Вертикально-фрезерний верстат	24,4	АПВ-3(1x6)+1x4	28 > 25,0	14,0	B-9	20
3	Токарноинторізнний верстат	34,9	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	9,0	B-9	25
4	Токарноинторізнний верстат	41,3	АПВ-3(1x16)+1x10	60 > 50,0	5,0	B-9	25
5	Токарноинторізнний верстат	41,3	АПВ-3(1x16)+1x10	60 > 50,0	6,0	B-10	25
6	Токарноинторізнний верстат	48,9	АПВ-3(1x16)+1x10	60 > 50,0	3,0	B-9	25
7	Токарноинторізнний верстат	38,4	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	2,0	B-9	25
8	Токарноинторізнний верстат	38,4	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	5,0	B-9	25
9	Токарноинторізнний верстат	38,4	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	8,0	B-9	25
В1	Вентилятор	40,2	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	10,0	B-9	25
		21,1	АПВ-3(1x4)+1x2,5	28 > 25,0	16,0	B-9	15
	СП-2						
10	Токарноинторізнний верстат	46,4	АПВБГ-(3x25)+1x16	69 > 50,0	71,0	-	-
11	Токарноинторізнний верстат	41,7	АПВ-3(1x16)+1x10	60 > 50,0	7,0	B-9	25
12	Токарноинторізнний верстат	34,9	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	4,0	B-9	25
13	Токарноинторізнний верстат	34,9	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	1,0	B-9	25
14	Токарноинторізнний верстат	41,7	АПВ-3(1x16)+1x10	60 > 50,0	2,0	B-9	25
15	Токарноинторізнний верстат	40,0	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	5,0	B-9	25
16	Токарноинторізнний верстат	39,3	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	6,0	B-9	25
17	Кран-балка ТВ=40%	40,0	АПВ-3(1x10)+1x6	47 > 40,0	10,0	B-9	25
В3	Вентилятор	11,1	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	19 > 12,5	5,0	B-2	15
		21,1	АПВ-3(1x6)+1x4	28 > 25,0	13,0	B-9	20

Продовження табл.Б.3.

1	2	3	4	5	6	7	8
	СП-3	73,8	АПВБГ-(3x35)+1x16	83,0 > 63,0	72,0	-	-
18	Поперечно-строгальний верстат	19,7	АПВ-3(1x4)+1x2.5	28,0 > 20,0	9,0	В-9	15
19	Поперечно-строгальний верстат	19,7	АПВ-3(1x4)+1x2.5	28,0 > 20,0	7,0	В-9	15
20	Поперечно-строгальний верстат	19,7	АПВ-3(1x4)+1x2.5	28,0 > 20,0	4,0	В-9	15
21	Токарно-винторізний верстат	41,7	АПВ-3(1x16)+1x10	60,0 > 50,0	2,0	В-9	25
22	Токарно-винторізний верстат	38,9	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	2,0	В-9	25
23	Токарно-винторізний верстат	35,7	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	4,0	В-9	25
24	Кран	11,1	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	19,0 > 12,5	4,0	В-2	15
В2	Вентилятор	21,1	АПВ-3(1x4)+1x2.5	28,0 > 25,0	13,0	В-9	15
В5	Вентилятор	11,3	АПВ-3(1x4)+1x2.5	28,0 > 12,5	14,0	В-9	15
В6	Вентилятор	11,3	АПВ-3(1x4)+1x2.5	28,0 > 12,5	16,0	В-9	15
	СП-4	62,4	АПВБГ-(3x25)+1x16	69,0 > 50,0	98,0	-	-
25	Шліцефрезерний верстат	59,1	АПВ-3(1x25)+1x16	80,0 > 63,0	7,0	В-4	32
26	Шліцефрезерний верстат	59,1	АПВ-3(1x25)+1x16	80,0 > 63,0	3,0	В-4	32
27	Зубофрезерний верстат	12,6	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	19,0 > 16,0	2,0	В-4	15
28	Зубодольбальний верстат	32,6	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	3,0	В-4	25
29	Універсальний фрезерний	25,6	АПВ-3(1x4)+1x2.5	28,0 > 25,0	5,0	В-9	15
В4	Вентилятор	10,8	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	19,0 > 12,5	11,0	В-9	15
	СП-5	60,8	АПВБГ-(3x25)+1x16	69,0 > 50,0	85,0	-	-
30	Зуборізний верстат	19,8	АПВ-3(1x4)+1x2.5	28,0 > 25,0	3,0	В-4	15
31	Зубострогальний верстат	10,6	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	19,0 > 12,5	2,0	В-4	15
32	Зубофрезерний верстат	38,5	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	6,0	В-2	25
33	Зубофрезерний верстат	38,5	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	4,0	В-9	25
34	Вертикально-фрезерний верстат	22,9	АПВ-3(1x4)+1x2.5	32,0 > 25,0	7,0	В-9	15
35	Вертикально-фрезерний верстат	6,5	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	19,0 > 10,0	10,0	В-9	15
В7	Вентилятор	11,3	АПВ-3(1x2.5)+1x2.5	19,0 > 12,5	8,0	В-9	15

Продовження табл. Б.3.

1	2	3	4	5	6	7	8
	СП-6	77,4	АПВБГ-(3x35)+1x16	83,0 > 80,0	70,0	-	-
36	Гідростенд	49,3	АПВ-3(1x16)+1x10	60,0 > 50,0	6,0	B-9	25
37	Точильно-шліфувальний верстат	8,0	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	19,0 > 10,0	4,0	B-9	15
38	Точильно-шліфувальний верстат	10,6	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	19,0 > 12,5	3,0	B-9	15
39	Вертикально-фрезерний верстат	34,1	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	5,0	B-9	25
40	Точильно-шліфувальний верстат	4,1	АПВ-3(1x2,5)+1x2,6	19,0 > 10,0	1,5	B-9	15
41	Внутрішньо-шліфувальний верстат	34,1	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	3,0	B-4	25
42	Внутрішньо-шліфувальний верстат	34,1	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	4,0	B-9	25
B8	Вентилятор	21,8	АПВ-3(1x4)+1x2,5	28,0 > 25,0	9,0	B-9	15
	СП-7	77,6	АПВБГ-(3x35)+1x16	83,0 > 80,0	57,0	-	-
43	Гідростенд	49,3	АПВ-3(1x16)+1x10	60,0 > 50,0	9,0	B-9	25
44	Точильно-шліфувальний верстат	8,0	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	19,0 > 10,0	4,0	B-9	15
45	Точильно-шліфувальний верстат	10,6	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	19,0 > 16,0	3,0	B-9	15
46	Вертикально-фрезерний верстат	34,1	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	5,0	B-9	25
47	Точильно-шліфувальний верстат	4,1	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	19,0 > 10,0	2,0	B-9	15
48	Внутрішньо-шліфувальний верстат	34,1	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 40,0	3,0	B-4	25
49	Круглошліфувальний верстат	27,5	АПВ-3(1x10)+1x6	47,0 > 31,5	5,0	B-9	25
B9	Вентилятор	21,8	АПВ-3(1x4)+1x2,5	28,0 > 25,0	9,0	B-9	15
	СП-8	123,5	АПВБГ-(3x70)+1x35	129,0 > 125,0	42,0	-	-
ЩО-1	Щиток освітлювальний	35,0	АПВБГ-(3x35)+1x16	90,0 > 40,0	17,0	B-9	32
50	Плоскошліфувальний верстат	50,8	АПВ-3(1x25)+1x16	60,0 > 50,0	8,0	B-9	32
51	Круглошліфувальний верстат	57,7	АПВ-3(1x25)+1x16	80,0 > 63,0	6,0	B-9	32
52	Плоскошліфувальний верстат	17,5	АПВ-3(1x4)+1x2,5	28,0 > 20,0	2,0	B-9	15
53	Свердильний верстат	14,3	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	19,0 > 16,0	5,0	B-9	15
54	Плоскошліфувальний верстат	25,7	АПВ-3(1x4)+1x2,5	28,0 > 25,0	3,0	B-9	15
55	Свердильний верстат	2,6	АПВ-3(1x2,5)+1x2,5	19,0 > 6,3	5,0	B-9	15
56	Кран	22,2	АПВ-3(1x4)+1x2,5	28,0 > 25,0	5,0	B-2	15
B10	Вентилятор	21,8	АПВ-3(1x4)+1x2,5	28,0 > 25,0	9,0	B-9	15