

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:

**«Розроблення електротехнічної системи електроспоживання  
радіотехнічного заводу»**

Виконав здобувач вищої освіти  
ІІІ курсу, групи ЕЕ-22мб,  
ОПП «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
\_\_\_\_\_ Іван МАРТИНЮК  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи  
доцент, канд. техн. наук  
\_\_\_\_\_ Олександр КОЗЛОВСЬКИЙ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 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 ПЛЄШКОВ*

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

*Мартинюка Івана Володимировича*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Розроблення електротехнічної системи електроспоживання радіотехнічного заводу.»

Development of an electrical system for power consumption of a radio engineering plant»

2. Керівник роботи (проекту) Козловський Олександр Антонович, к.т.н., доц.

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 2.06.2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: Розроблення електротехнічної системи електроспоживання радіотехнічного заводу згідно сучасних вимог надійності, економічності та заходів з електрозбереження.

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>7.03.25</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 схеми електропостачання</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

« 28 » « лютого » 2025 року

Підпис керівника

Олександр КОЗЛОВСЬКИЙ

Задання прийнято до виконання

« 28 » « лютого » 2025 року

Підпис здобувача

Іван МАРТИНЮК

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: загальний обсяг 85 с., 10 рис.; 26 табл.; 12 джерел; 4-ри додатки на 17 с.

**Мартинюк І. В. Розроблення електротехнічної системи електро-споживання радіотехнічного заводу. – Рукопис.**

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

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне проектування електротехнічної системи електроспоживання радіотехнічного заводу. Проведено розрахунки електричних навантажень, компенсації реактивної потужності, струмів короткого замикання та здійснено техніко-економічне обґрунтування схеми внутрішнього електропостачання. На підставі отриманих результатів обрано основне електрообладнання, кабельні лінії 10 кВ, а також обґрунтовано тип і розташування цехових трансформаторних підстанцій.

Спеціальний розділ роботи присвячений розробці організаційних та технічних заходів з економії електроенергії в розподільній мережі 10 кВ заводу. У результаті проведених розрахунків та аналізу при виборі кабельних ліній 10 кВ заводу було встановлено, що економічно доцільні перерізи провідників виявилися на один-два стандартні розміри більшими, ніж ті, що обираються виключно за технічними умовами. Порівняльний аналіз за мінімумом приведених витрат між трансформаторами серії ТМГ, що мають рівень 1 вимог до екодизайну і енергозберігаючими трансформаторами з рівнем 2 для цехових підстанцій довів доцільність застосування останніх.

**Ключові слова:** електричне навантаження, компенсація реактивної потужності, високовольтний електроапарат, електрозбереження

## ABSTRACT

Qualification work: 85 p.; 10 Fig.; 26 tables; 12 source; 4 add. on 17 p.

### **Martyniuk I. V. Development of an electrical system for power consumption of a radio engineering plant. – Manuscript.**

Bachelor's thesis on specialty 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 includes a comprehensive design of the electrical power supply system of a radio engineering plant. Electrical loads, reactive power compensation, short-circuit currents were calculated, and a feasibility study of the internal power supply scheme was carried out. Based on the results obtained, the main electrical equipment and 10 kV cable lines were selected, and the type and location of the shop transformer substations were justified.

A special section of the paper is devoted to the development of organizational and technical measures to save electricity in the plant's 10 kV distribution network. As a result of the calculations and analysis carried out when selecting the plant's 10 kV cable lines, it was found that the economically feasible conductor cross-sections were one or two standard sizes larger than those selected solely on the basis of technical specifications. A comparative analysis of the minimum reduced costs between transformers of the TMG series, which have level 1 eco-design requirements, and energy-saving transformers with level 2 for workshop substations proved the feasibility of using the latter.

**Keywords:** electrical load, reactive power compensation, high-voltage electrical apparatus, energy efficiency

## ЗМІСТ

	стр.
<b>ВСТУП</b> .....	8
1. Розрахунок електричних навантажень заводу.....	9
1.1. Розрахунок силових електричних навантажень у електричних мережах до 1000 В.....	9
1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	13
1.3. Розрахунок електричних навантажень у мережах вище 1000 В.....	16
1.4. Побудова графіків електричних навантажень.....	17
2. Картограма електричних навантажень і місце розташування центральної розподільної установки 10 кВ.....	20
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання заводу.....	21
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	21
3.2. Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання.....	22
4. Компенсація реактивної потужності.....	31
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір конденсаторних установок.....	31
4.2. Вибір кількості, потужності та місця розташування конденсаторних установок .....	32
5. Трансформаторні підстанції.....	34
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій... ..	34
5.2. Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій.....	35

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів	
Розроб.		Мартинюк І. В.			«Розроблення електротехнічної системи електроспоживання радіотехнічного заводу. Development of an electrical system for power consumption of a radio engineering plant»	Д	6	85
Перевір.		Козловський О.А				ЦНТУ гр. ЕЕ-22мб		
Н.контр.								
Затв.		Плешков П. Г.						

6. Розрахунок струмів КЗ і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання заводу.....	38
6.1. Розрахунок струмів КЗ.....	38
6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж.....	44
6.3. Вибір високовольтного електрообладнання.....	45
7. Спеціальний розділ.....	53
7.1. Заходи щодо ефективного використання електроенергії .....	53
7.2. Зниження втрат електроенергії внаслідок проведення організаційних заходів.....	55
7.3. Зниження втрат електроенергії від проведення технічних заходів.....	59
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	67
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	68
<b>ДОДАТКИ</b> .....	69
Додаток А. Розрахунок електричних навантажень у мережі 10 кВ.....	70
Додаток Б. Розрахунок графіків електричних навантажень.....	77
Додаток В. Розрахунок картограми електричних навантажень.....	81
Додаток Г. Розрахунок електричних навантажень магістральних ліній 10 кВ..	82

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		7

## ВСТУП

Підприємства радіоелектронної промисловості зазвичай належать до середніх за потужністю електроприймачів. Їх головні виробничі потужності розміщуються у великих багатоповерхових корпусах. На проектованому заводі це корпуси №1–№3, причому корпус №2 має чотири поверхи, а всі інші будівлі – одноповерхові. Особливістю радіозаводів є наявність великої кількості лабораторій, конструкторських бюро, а також адміністративних і побутових приміщень. До основного технологічного обладнання заводу належать: металообробні верстати, преси, електронагрівальні установки, випрямлячі та компресори.

Технологічний процес заводу полягає в наступному. У проектних бюро проводиться розробка виробів і технічної документації. Зі складів метал поступає у механо-штампувальний цех та листоштампувальний цех корпусу №2 де на технологічному обладнанні, зокрема, пресах проводиться виготовлення заготовок (корпуси шаф, приладів, світильників). Далі отримані заготовки відправляються у гальванічний цех корпусу №1 де проводиться їх міднення, цинкування. Частина отриманих заготовок відправляється до фарбувального цеху. Заготовки вкриті захисними покриттями поступають у збиральний цех №8 і монтажний цех №6 корпусу №2 де проводиться зборка, відповідно, світлодіодних світильників та електричних розподільчих шаф. У лабораторіях проводиться перевірка та налаштування зібраних виробів. Після упаковки вироби відправляють до складу готової продукції.

Режим роботи заводу – двозмінний. За надійністю електропостачання у відповідності з [1], до II-ї категорії відноситься – 70% електроприймачі заводу, а до III-ї – 30 %.

Джерелом живлення підприємства може бути ПС енергосистеми зі встановленими трансформаторами ТДН-25000/150/35/10, що знаходиться на відстані 3,8 км. Величина надперехідного струму КЗ на її шинах 10 кВ становить 9,4 кА для максимального режиму роботи енергосистеми.

Мета даної кваліфікаційної роботи полягає в вирішенні завдань, пов'язаних із комплексним проектуванням електротехнічної системи електроспоживання радіотехнічного заводу.

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

# 1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗАВОДУ

## 1.1 Розрахунок силових електричних навантажень у електричних мережах до 1000 В

Електричні навантаження для всіх цехів радіотехнічного заводу розраховано за методом впорядкованих діаграм [2-4]. Далі детально викаємо такий для механоскладального цеху корпусу №1.

Розрахункова активна потужність електроприймачів, що встановлені в механоскладальному цеху:

$$P_p = k_M \cdot P_{сзм} = 323,4 \cdot 1,18 = 381,1 \text{ кВт},$$

де  $P_{сзм}$  – середньозмінна активна потужність споживачів цеху

$$P_{сзм} = \sum_i^n P_{сзм_i} = 141,6 + 27,5 + 42,5 + 1,4 + 110,5 = 323,4 \text{ кВт};$$

$P_{сзм.i}$  – середньозмінна активна потужність  $i$ -ї групи електроприймачів з однаковим режимом роботи цеху;

$k_M$  – коефіцієнт максимуму розрахункової потужності

$$k_M = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot k_B^2 - 12,7 \cdot k_B + 8,235}{(k_B + 0,05) \cdot n_{еф}^{(1,04-0,4 \cdot k_B)}}} = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot 0,18^2 - 12,7 \cdot 0,18 + 8,235}{(0,18 + 0,05) \cdot 19^{(1,04-0,4 \cdot 0,18)}}} = 1,18,$$

$k_B$  – груповий коефіцієнт використання

$$k_B = \frac{P_{сзм}}{\sum_{i=1}^n P_{ном_i}} = \frac{323,4}{1785,5} = 0,18,$$

$P_{ном.i}$  – встановлена активна потужність  $i$ -го електроприймача МСЦ корпусу №1;

$n_{еф}$  – ефективне число електроприймачів у вузлу навантаження

$$n_{еф} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ном_i}}{P_{н.мах}} = \frac{2 \cdot 1785,5}{46} = 77,6 \approx 78 \text{ шт},$$

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

за умови, що відношення між встановленою потужністю найбільшого  $P_{\text{ном.мах}}$  і найменшого споживачів  $P_{\text{ном.мін}}$  дорівнює

$$m = \frac{P_{\text{ном.мах}}}{P_{\text{ном.мін}}} = \frac{46}{2,4} = 19 > 3.$$

Розрахункова реактивна потужність електроприймачів цеху дорівнює їх середньозмінній реактивній потужності

$$Q_p = Q_{\text{сзм}} = 507 \text{ квар},$$

так як  $n_{\text{эф}} = 78 > 10$  шт.

Отже, розрахунковий максимум повного навантаження складе

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{381,1^2 + 507,0^2} = 634,2 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Оскільки розрахунок силових електричних навантажень для інших ділянок і цехів радіотехнічного заводу є аналогічним до наведеного вище прикладу, його оформлено у вигляді табл. 1.1.

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

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

№ 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
<b>1</b>	<b>Корпус №1</b>														
1.1	Механоскладальний цех														
	Токарно-винторізні верстати	144	2,4 - 46,0	1180,0		0,12	0,40	2,29	141,6	324,4					
	Фрезерні верстати	22	7,6 - 9,8	171,6		0,16	0,50	1,73	27,5	47,6					
	Преси	15	4,5 - 40,0	250,0		0,17	0,65	1,17	42,5	49,7					
	Кран-балка ТВ=40%	4	5,5 - 5,5	13,9		0,10	0,50	1,73	1,4	2,4					
	Вентилятори	22	7,5 - 22,0	170,0		0,65	0,80	0,75	110,5	82,9					
	Всього по цеху	207	2,4 - 46,0	1785,5	19	0,18	0,54	1,57	323,4	507,0	78	1,18	381,1	507,0	634,2
1.2	Гальванічний цех	58	1,5 - 85,0	758,1	57	0,64	0,81	0,71	483,3	345,1	18	1,14	548,9	345,1	648,4
1.3	Склад	12	1,1 - 7,5	28,4	7	0,40	0,77	0,83	11,4	9,4	8	1,54	17,5	10,4	20,4
	<b>Всього по корпусу №1</b>	277	1,1 - 85,0	2572,0	77	0,32	0,69	1,05	818,2	861,5	61	1,14	931,3	861,5	1268,7
<b>2</b>	<b>Корпус №2</b>														
2.1	Листоштампувальний цех	97	1,6 - 130,0	3260,4	81	0,22	0,69	1,06	709,3	749,7	50	1,23	871,7	749,7	1149,8
2.2	Склад	14	1,1 - 7,5	39,4	7	0,42	0,78	0,80	16,5	13,3	11	1,40	23,2	13,3	26,7
2.3	Збиральний цех №8	57	0,1 - 42,0	552,4	420	0,42	0,62	1,28	232,9	297,2	26	1,21	280,9	297,2	408,9
2.4	Лабораторія	81	0,1 - 12,0	200,6	120	0,53	0,91	0,46	106,9	49,5	33	1,12	119,9	49,5	129,8
2.5	Цех №6 (монтажний)	127	1,0 - 130,0	2474,0	130	0,25	0,54	1,55	617,7	958,7	38	1,26	777,1	958,7	1234,1
	<b>Всього по корпусу №2</b>	376	0,1 - 130,0	6526,8	>3	0,26	0,63	1,23	1683,3	2068,5	100	1,11	1865,5	2068,5	2785,4
<b>3</b>	<b>Адмінібутовий корпус №1</b>														
3.1	Побутова частина	44	0,1 - 5,5	34,0	55	0,66	0,82	0,71	22,6	16,0	12	1,16	26,3	16,0	30,8
3.2	Конструкторське бюро	207	0,1 - 15,0	171,9	150	0,79	0,82	0,69	135,2	93,8	23	1,06	143,0	93,8	171,1
3.3	Ідальня №2	19	1,5 - 24,0	135,5	16	0,54	0,99	0,11	73,8	8,4	11	1,27	93,7	8,4	94,1
	<b>Всього по АПК №1</b>	226	0,1 - 24	307,4	240	0,68	0,9	0,49	209,01	102,22	26	1,09	227,359	102,222	249,282
<b>4</b>	<b>Адмінібутовий корпус №2</b>														
4.1	АПЧ	52	0,1 - 5,5	60,6	55	0,65	0,81	0,72	39,2	28,3	22	1,11	43,6	28,3	52,0
4.2	Конструкторське бюро	151	0,1 - 7,5	74,9	75	0,75	0,81	0,73	55,9	41,0	20	1,08	60,3	41,0	72,9
	<b>Всього по АПК №2</b>	203	0,1 - 7,5	135,5	75	0,70	0,81	0,73	95,1	69,2	36	1,06	101,1	69,2	122,5
<b>5</b>	<b>Компресорна станція</b>	27	3,0 - 250,0	1515,5	83	0,69	0,79	0,76	1053,2	805,1	12	1,14	1205,4	805,1	1449,6

продовження табл. 1.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	Котельня	15	3,0 - 40,0	271,0	13	0,68	0,81	0,74	184,2	135,7	14	1,14	209,6	135,7	249,7
7	Реагентне господарство	18	1,2 - 30,0	162,8	25	0,71	0,76	0,86	116,3	99,6	11	1,14	132,7	99,6	165,9
8	Їдальня №1	51	0,8 - 41,0	513,6	51	0,62	0,97	0,25	317,4	78,1	25	1,11	353,6	78,1	362,1
9	Механо-штампувальний цех	206	1,6 - 130,0	4626,0	81	0,21	0,68	1,08	968,6	1041,3	71	1,17	1136,8	1041,3	1541,7
10	Адмінібутова частинаї МШЦ	4	2,2 - 7,5	19,4	3	0,65	0,80	0,75	12,6	9,5	4	1,38	17,3	10,4	20,2
11	Корпус №4														
11.1	Цех №1	82	2,2 - 37,8	732,5	17	0,17	0,61	1,30	124,1	161,7	39	1,34	166,7	161,7	232,2
11.2	Термічне відділення	19	1,1 - 75,0	501,7	68	0,63	0,81	0,73	318,5	232,8	13	1,17	373,9	232,8	440,5
11.3	Цех №2	150	0,8 - 28,0	766,1	35	0,34	0,69	1,04	256,7	267,9	55	1,14	293,5	267,9	397,4
	<b>Всього по корпусу №4</b>	<b>251</b>	<b>0,8 - 75,0</b>	<b>2000,3</b>	<b>94</b>	<b>0,35</b>	<b>0,73</b>	<b>0,95</b>	<b>699,3</b>	<b>662,3</b>	<b>53</b>	<b>1,14</b>	<b>798,5</b>	<b>662,3</b>	<b>1037,5</b>
12	АПЧ корпусу №4	21	0,2 - 7,5	37,9	38	0,66	0,80	0,75	25,2	18,9	10	1,19	29,9	20,8	36,4
13	Деревообробний цех	43	2,2 - 94,5	40,7	44	2,97	0,18	5,37	120,9	649,4	1	2,02	244,7	714,3	755,1
14	СКБ Ч.1	258	0,1 - 15,0	254,9	150	0,61	0,82	0,70	155,2	108,4	34	1,09	169,7	108,4	201,3
15	СКБ Ч.2	91	0,1 - 7,5	85,5	75	0,70	0,81	0,73	60,0	44,1	23	1,09	65,3	44,1	78,7
16	Гараж	36	1,7 - 12,0	425,5	7	0,36	0,49	1,76	151,8	267,5	36	1,19	180,9	267,5	323,0
17	Електроцех	18	1,5 - 30,0	130,2	20	0,40	0,81	0,73	51,7	37,9	9	1,50	77,6	41,6	88,1
18	Фарбувальний цех	19	2,2 - 160,0	1173,7	73	0,67	0,92	0,43	787,8	335,2	15	1,14	895,0	335,2	955,7
19	Кузнечне відділення	27	5,5 - 70,0	430,7	13	0,48	0,51	1,71	204,6	349,6	12	1,32	269,6	349,6	441,5
20	Насосна станція	8	2,8 - 75,0	319,3	27	0,70	0,80	0,75	223,0	168,2	8	1,19	265,3	185,0	323,4
21	АПЧ	60	0,1 - 7,5	78,0	75	0,46	0,81	0,72	36,0	26,1	21	1,22	43,8	26,1	51,0
22	Будинок культури	58	0,1 - 80,0	192,2	800	0,61	0,84	0,65	117,4	76,3	5	1,37	161,5	84,0	182,0
23	Склад	4	1,1 - 2,3	6,8	2	0,10	0,50	1,73	0,7	1,2	4	3,56	2,4	1,3	2,7
24	Склад ОКІК	13	2,3 - 7,5	66,9	3	0,55	0,70	1,03	36,7	37,9	13	1,24	45,4	37,9	59,1
25	Блок складів	42	0,6 - 22,0	284,5	37	0,59	0,79	0,77	168,3	128,9	26	1,12	188,7	128,9	228,5
	<b>Всього на напрузі 0,4 кВ</b>														
	СИЛОВО	2352	0,1 - 250,0	22177	>3	0,37	0,71	0,99	8296,2	8182,6	177	1,05	8686,6	8182,6	11933,7
	освітлювальне												1596,1	1923,0	
	<b>Всього по заводу на шинях 0,4 кВ</b>												10282,7	10105,6	14417,3

## 1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Визначення освітлювального навантаження для цехів та території заводу проведено методом питомої потужності, для 1 м<sup>2</sup> корисної площі виробничого приміщення.

Виконаємо детально розрахунок освітлювальної системи для механоскладального цеху. У цьому цеху намічається встановлення світильників, оснащених дуговими ртутними лампами (ДРЛ).

Встановлена активна потужність освітлювальних приймачів:

$$P_B = n \cdot p_0 \cdot F_{\text{м.ц}} \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 16 \cdot 10028 \cdot 10^{-3} = 160,4 \text{ кВт.}$$

де  $n$  – кількість поверхів цеху, шт.;

$p_0$  – питома активна потужність, що споживає освітлювальне навантаження, кВт/м<sup>2</sup>;

$F_{\text{м.ц}}$  – площа механоскладального цеху, м<sup>2</sup>.

Активна розрахункова потужність, що споживають електроприймачів освітлювальних установок:

$$P_{\text{р.ос}} = k_1 \cdot k_{\text{п}} \cdot P_B = 1,12 \cdot 0,95 \cdot 160,4 = 170,7 \text{ кВт,}$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі світильника з лампою типу ДРЛ,  $k_1=1,12$ ;

$k_{\text{п}}$  – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження.

Реактивна розрахункова потужність освітлювальних електроприймачів

$$Q_{\text{р.ос}} = P_{\text{р.ос}} \cdot \text{tg}\varphi = 170,7 \cdot 1,732 = 295,7 \text{ квар.}$$

де  $\text{tg}\varphi$  – коефіцієнт потужності, для ламп типу ДРЛ складає  $\cos\varphi = 0,5$ .

Повна розрахункова потужність освітлювальних електроприймачів цеху

$$S_{\text{р.ос}} = \sqrt{P_{\text{р.ос}}^2 + Q_{\text{р.ос}}^2} = \sqrt{170,7^2 + 295,7^2} = 341,4 \text{ кВА.}$$

Розрахунок навантажень інших освітлювальних електроприймачів заводу, аналогічний представленому, тому виконаний у вигляді табл. 1.2.

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

Таблиця 1.2 – Розрахунок освітлювальних навантажень радіотехнічного заводу

№ п/п	Назва	n, шт	F, м <sup>2</sup>	p <sub>0</sub> , Вт/м	P <sub>в</sub> , кВт	cosφ	Q <sub>в</sub> , квар	k <sub>п</sub>	k <sub>1</sub>	P <sub>р.ос</sub> , кВт	Q <sub>р.ос</sub> , квар	S <sub>р.ос</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	<b>Корпус №1</b>											
1.1	Механоскладальний цех	1	10028	16	160,4	0,5	277,9	0,95	1,12	170,7	295,7	341,4
1.2	Гальванічний цех	1	2160	12	25,9	0,5	44,9	0,85	1,12	24,7	42,7	49,4
1.3	Склад	1	1152	6	6,9	0,5	12,0	0,60	1,12	4,6	8,0	9,3
	<b>Всього по корпусу №1</b>		13340		193,3		334,8			200,0	346,5	400,1
2	<b>Корпус №2</b>											
2.1	Листоштампувальний цех	1	2464	16	39,4	0,5	68,3	0,95	1,12	41,9	72,7	83,9
2.2	Склад	1	336	6	2,0	0,5	3,5	0,60	1,12	1,4	2,3	2,7
2.3	Збиральний цех №8	1	3472	20	69,4	0,5	120,3	0,95	1,12	73,9	128,0	147,8
2.4	Лабораторія	1	672	24	16,1	0,9	7,8	0,80	1,20	15,5	7,5	17,2
2.5	Цех №6 (монтажний)	2	6944	18	125,0	0,5	216,5	0,95	1,12	133,0	230,3	266,0
	<b>Всього по корпусу №2</b>		13888		252,0		416,4			265,7	440,8	514,7
3	<b>Адмінпобутовий корпус №1</b>											
3.1	Побутова частина	1	1200	18	21,6	0,9	10,5	0,80	1,20	20,7	10,0	23,0
3.2	Конструкторське бюро	3	3600	24	86,4	0,9	41,8	0,80	1,20	82,9	40,2	92,2
3.3	Їдальня №2	1	1200	18	21,6	0,9	10,5	0,80	1,20	20,7	10,0	23,0
	<b>Всього по АПК №1</b>		6000		129,6		62,8			124,4	60,3	138,2
4	<b>Адмін. побутовий корпус №2</b>											
4.1	АПЧ	3	1824	20	36,5	0,9	17,7	0,80	1,20	35,0	17,0	38,9
4.2	Конструкторське бюро	2	1216	24	29,2	0,9	14,1	0,80	1,20	28,0	13,6	31,1
	<b>Всього по АПК №2</b>		3040		65,7		31,8			63,0	30,5	70,0
5	<b>Компресорна станція</b>	1	245	14	3,4	0,5	5,9	0,85	1,12	3,3	5,7	6,5
6	<b>Котельня</b>	2	2080	14	29,1	0,5	50,4	0,85	1,12	27,7	48,0	55,4
7	<b>Реагентне господарство</b>	1	312	12	3,7	0,5	6,5	0,85	1,12	3,6	6,2	7,1
8	<b>Їдальня №1</b>	2	3876	18	69,8	0,9	33,8	0,80	1,20	67,0	32,4	74,4

продовження табл. 1.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	Механо-штампувальний цех	1	9424	18	169,6	0,5	293,8	0,95	1,12	180,5	312,6	361,0
10	АПЧ МШЦ	2	1824	20	36,5	0,9	17,7	0,80	1,20	35,0	17,0	38,9
11	Корпус №3											
11.1	Цех №1	1	2304	18	41,5	0,5	71,8	0,95	1,12	44,1	76,4	88,3
11.2	Термічне відділення	1	540	14	7,6	0,5	13,1	0,85	1,12	7,2	12,5	14,4
11.3	Цех №2	1	2530	17	43,0	0,5	74,5	0,95	1,12	45,8	79,3	91,5
	<b>Всього по корпусу №22</b>		5374		92,0		159,4			97,1	168,2	194,2
12	АПЧ корпусу №3	1	840	20	16,8	0,9	8,1	0,80	1,20	16,1	7,8	17,9
13	Деревообробний цех	1	6380	16	102,1	0,5	176,8	0,85	1,12	97,2	168,3	194,4
14	СКБ Ч.1	9	6498	24	156,0	0,9	75,5	0,80	1,20	149,7	72,5	166,3
15	СКБ Ч.2	3	3366	24	80,8	0,9	39,1	0,80	1,20	77,6	37,6	86,2
16	Гараж	1	960	14	13,4	0,5	23,3	0,85	1,12	12,8	22,2	25,6
17	Електроцех	1	528	18	9,5	0,5	16,5	0,85	1,12	9,0	15,7	18,1
18	Фарбувальний цех	1	576	22	12,7	1,0	0,0	0,85	1,00	10,8	0,0	10,8
19	Кузнечне відділення	1	368	16	5,9	0,5	10,2	0,85	1,12	5,6	9,7	11,2
20	Насосна станція	1	245	14	3,4	0,5	5,9	0,85	1,12	3,3	5,7	6,5
21	АПЧ	5	5070	20	101,4	0,9	49,1	0,80	1,20	97,3	47,1	108,2
22	Будинок культури	1	900	16	14,4	0,9	7,0	0,80	1,20	13,8	6,7	15,4
23	Склад	1	384	6	2,3	0,5	4,0	0,60	1,12	1,5	2,7	3,1
24	Склад ОКІК	1	2250	6	13,5	0,5	23,4	0,60	1,12	9,1	15,7	18,1
25	Блок складів	1	1536	6	9,2	0,5	16,0	0,60	1,12	6,2	10,7	12,4
	<b>Освітлення території</b>	1	83736	0,2	16,7	0,5	29,0	1,00	1,12	18,8	32,5	37,5
	<b>Всього по заводу</b>		89304		1602,9		1897,2			1596,1	1923,0	2499,0

### 1.3 Розрахунок електричних навантажень у мережах вище 1000 В

Методика розрахунку електричних навантажень для мереж напругою понад 1000 В є аналогічною до тієї, що була використана для мереж напругою до 1000 В (див. р. 1.1). Однак, у даному випадку розрахунковими вузлами навантажень слугують шини 10 кВ цехових підстанцій. Тому перед виконанням розрахунку було попередньо визначено кількість цехових підстанцій (ПС), потужності їхніх трансформаторів та схему їх розміщення по території радіотехнічного заводу.

Споживачі II-ї категорії за надійністю електропостачання отримують живлення від двотрансформаторних ПС, а III-ї категорії – однострансформаторних.

На даному етапі проектування приймаємо трансформатори номінальною потужністю 1000 кВА (екодизайн, втрати відповідають рівню 1) [5, 6].

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в трансформаторах цехових підстанцій проведено за умови повної компенсації реактивної потужності в мережі до 1000 В за формулами:

$$\Delta P = n \left[ \Delta p_{\text{н.х}} + \Delta p_{\text{к.з}} \cdot k_3^2 \right];$$
$$\Delta Q = \frac{n \cdot S_{\text{Т.НОМ}}}{100} \left[ i_{\text{н.х}} + u_{\text{к.з}} \cdot k_3^2 \right],$$

де  $n$  – кількість трансформаторів на ПС;

$\Delta p_{\text{н.х}}$  – потужність втрат неробочого ходу, приймаємо 0,77 кВт [6];

$\Delta p_{\text{к.з}}$  – потужність навантажувальних втрат, приймаємо 10,5 кВт [6];

$i_{\text{н.х}}$  – струм неробочого ходу, згідно каталогу 1,5%;

$u_{\text{к.з}}$  – напруга короткого замикання, згідно каталогу 6,0%;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження трансформатора.

Навантаження в цілому по радіотехнічному заводу (на шинах 10 кВ ЦРУ) визначається таким же самим чином, як і навантаження по окремих ПС. Якщо в склад розрахункового вузла входять конденсаторні установки, то їх реактивне навантаження враховується зі знаком «-».

Розрахунок навантажень вище 1000 В у системі електропостачання радіотехнічного заводу виконано табличному вигляді. У табл. А.1. приведено, остаточний варіант розрахунку (стандартних потужностей конденсаторних установок та реальних коефіцієнтів завантаження трансформаторів).

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

## 1.4 Побудова графіків електричних навантажень

Вихідні дані для розрахунку погодинних електричних навантажень отримано з аналізу типових добових графіків, що характерні для електронної промисловості, з урахуванням сезонних змін та режиму роботи.

Розрахунок даних для побудови графіків електричних навантажень проведено на базі добових графіків характерних для електронної промисловості з урахуванням сезонності та режиму роботи радіотехнічного заводу. У розрахунках використано таке розподілення кількості діб: робочі дні складають 147 діб взимку та 105 діб влітку; вихідні дні – 65 діб у зимовий період і 48 у літній. Значення електричних навантажень для кожного ступеня графіку визначено шляхом перерахунку відносних одиниць в іменовані. Нижче наведено детальний розрахунок першого ступеня добового графіка електронавантажень для робочого зимового дня:

$$P_{3,j=1} = \frac{p_{j=1}}{100\%} P_p = \frac{19,2}{100\%} 10383,4 = 1993,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{3,j=1} = \frac{q_{j=1}}{100\%} Q_p = \frac{19,2}{100\%} 1592,6 = 305,8 \text{ кВт};$$

де  $p_j, q_j$  – відносні значення активного та реактивного навантаження  $i$ -го ступеня графіка, %;

$P_p, Q_p$  – розрахункові активна та реактивна потужності заводу (див. табл. Б.1).

Повного навантаження першого ступеню графіка

$$S_{3,j=1} = \sqrt{P_{3,j=1}^2 + Q_{3,j=1}^2} = \sqrt{1993,6^2 + 305,8^2} = 2016,9 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

При розрахунку добових графіків літнього періоду були використані наступні значення розрахункових навантажень:

$$P_{p,l} = k_{п,p} \cdot P_p = 0,8 \cdot 10383,4 = 8306,7 \text{ кВт};$$

$$Q_{p,l} = k_{п,q} \cdot Q_p = 0,8 \cdot 1592,6 = 1274,1 \text{ квар},$$

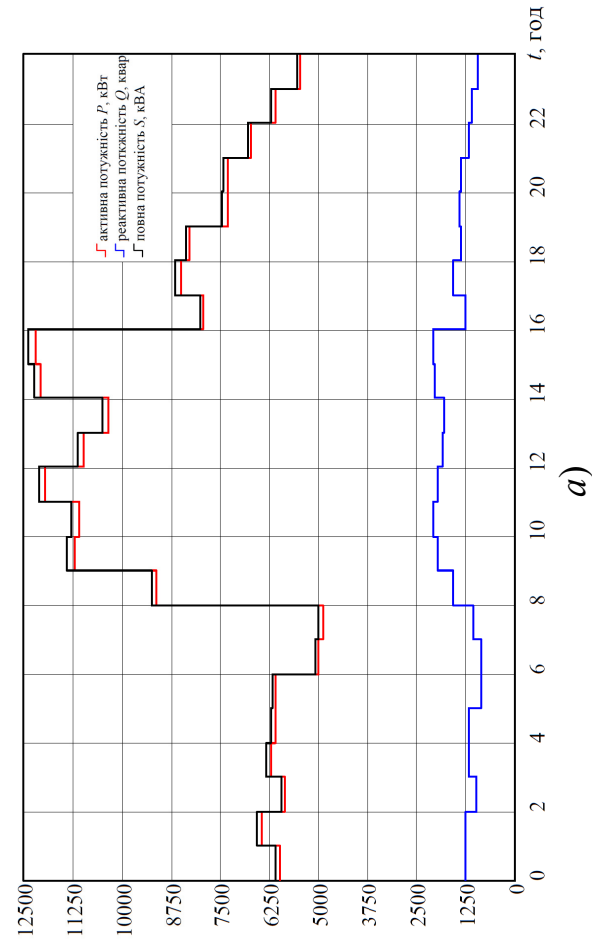
де  $k_{п,p}, k_{п,q}$  – коефіцієнти пропорційності, відповідно, для активної та реактивної потужності.

Повний розрахунок добових графіків виконано у вигляді таблиць Б.1–Б.4.

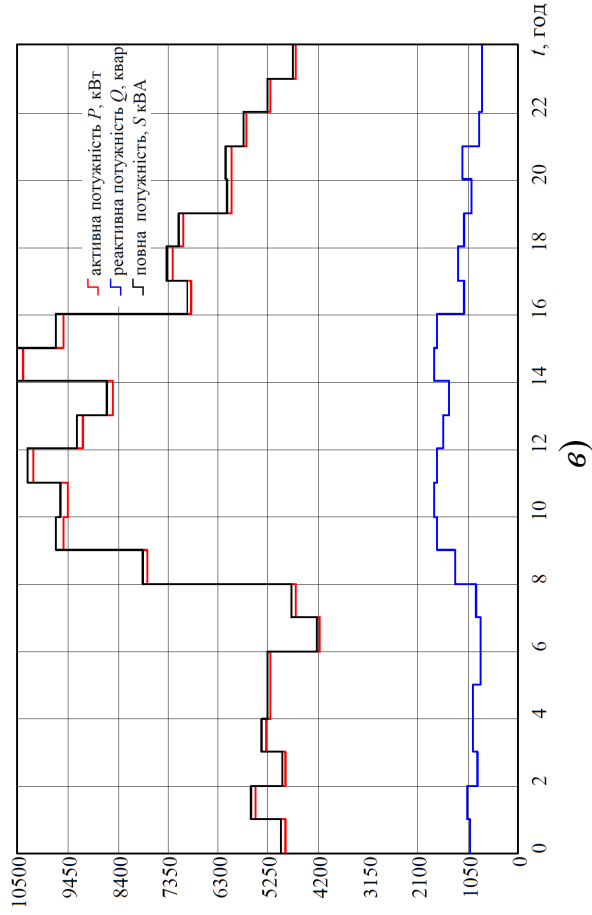
Графічне відображення добових навантажень активної, реактивної та повної потужностей радіотехнічного заводу подано на рис. 1.1.

За добовими графіками розраховано річний графік електронавантажень за тривалістю (табл. Б.5).

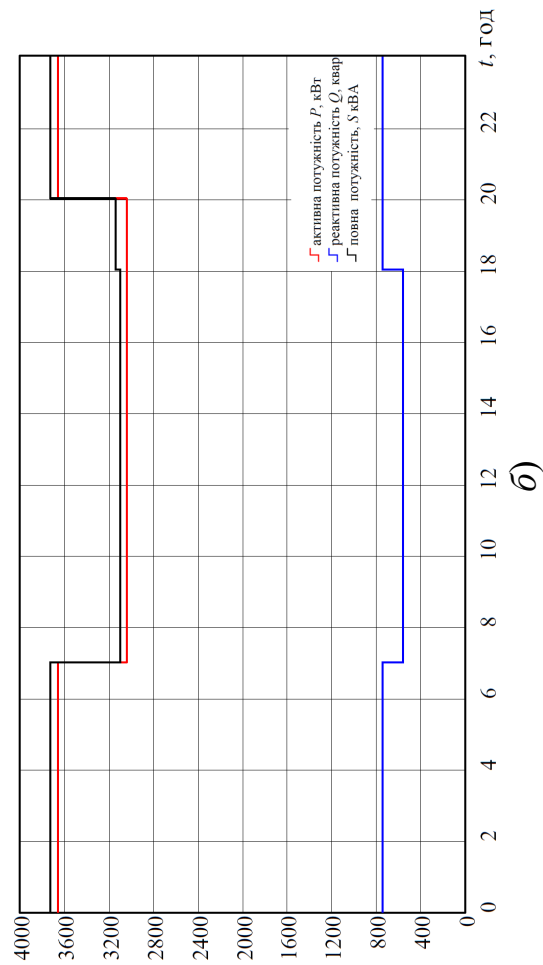
						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		17



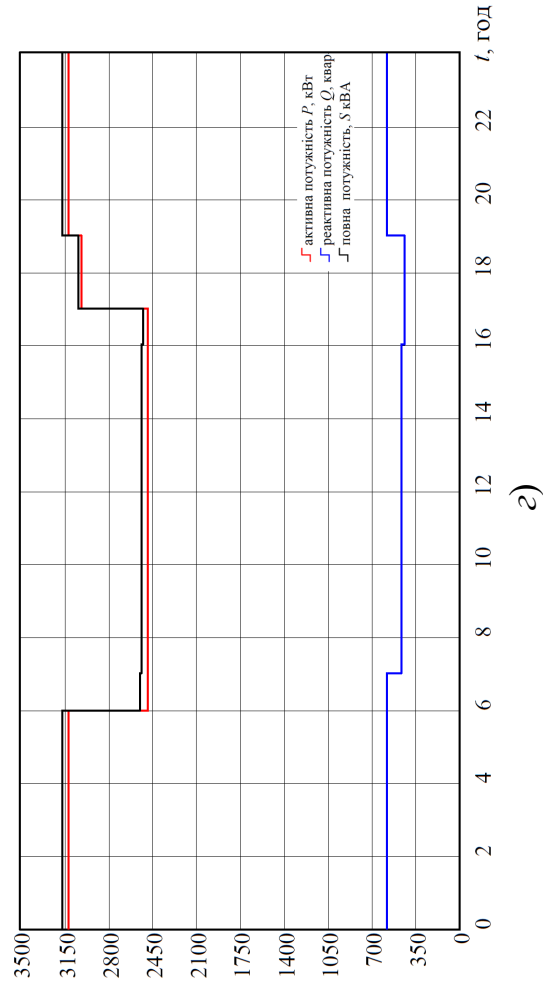
а)



б)



а)



б)

Рисунок 1.1 – Добові графіки електричних навантажень на шинах 10 кВ ЦРУ радіотехнічного заводу:  
а) робоча, б) вихідна зимова доба; в) робоча, г) вихідна літня доба

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

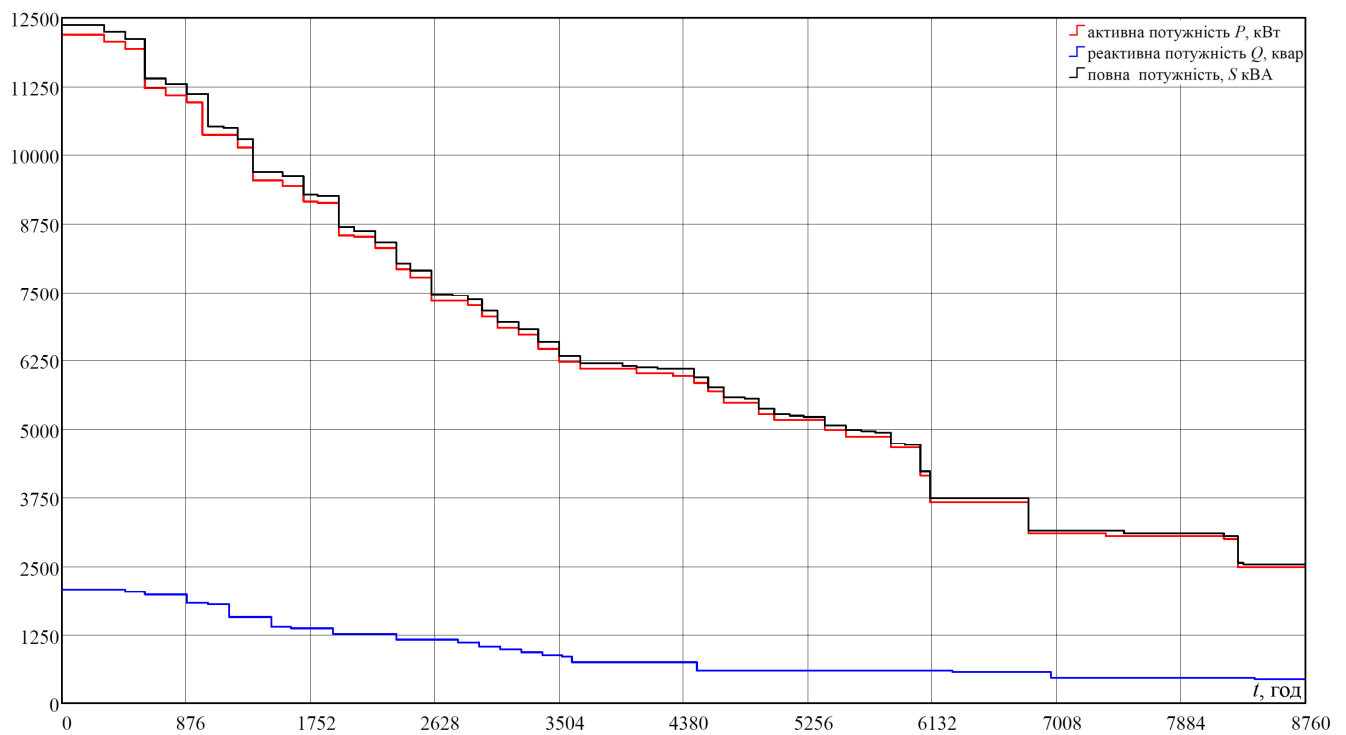


Рисунок 1.2 – Річний графік електричних навантажень заводу за тривалістю

За річним графіком визначаємо річні витрати активної і реактивної енергії в проєктованій електротехнічній системі електроспоживання заводу:

$$W_p = \sum_{j=1}^n \left[ 147P_{з.рj} + 65P_{з.вj} + 105P_{л.рj} + 48P_{л.вj} \right] = 27117,6 \text{ МВат}\cdot\text{год};$$

$$V_p = \sum_{j=1}^n \left[ 147Q_{з.рj} + 65Q_{з.вj} + 105Q_{л.рj} + 48Q_{л.вj} \right] = 4288,9 \text{ Мвар}\cdot\text{год},$$

де  $P_j$  – ордината  $j$ -го ступеня річного графіку активного навантаження, кВт;

$Q_j$  – ордината  $j$ -го ступеня річного графіку реактивного навантаження, квар;

$t_j$  – тривалість  $j$ -го ступеня, год.

Тривалість максимальних втрат повної потужності:

$$\tau = \left[ 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = \left[ 0,124 + \frac{2613,5}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = 1300,8 \text{ год.}$$

де  $T_M$  – тривалість використання максимуму навантаження

$$T_M = \frac{\sqrt{W^2 + V^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{27117,6^2 + 4288,9^2}}{10504,8} = 2613,5 \text{ год.}$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					19

## 2 КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ І МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ 10 кВ

Вибір оптимального місця для розміщення центральної розподільної установки (ЦРУ) 10 кВ заводу здійснюється на основі картограми електричних навантажень, яка наноситься на генеральний план заводу. При побудові картограми для кожного виробничого цеху (підрозділу) розраховується радіус кола, причому площа цього кола ( $\pi R_i^2$ ) у встановленому масштабі  $m$  відповідає розрахунковому електричному навантаженню даного цеху  $P_p$ .

Радіус кола для механоскладального корпусу №1 становитиме:

$$R = \sqrt{\frac{P_{p.\Sigma}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1131,4}{3,14 \cdot 1}} = 19 \text{ мм},$$

де  $m$  – масштаб картограми, приймаємо рівним  $1,0 \text{ кВт/мм}^2$ .

Центральний кут  $\alpha$  пропорційний площі сектору, що пропорційна величині освітлювального навантаження. Для механоскладального корпусу №1 складе

$$\alpha_1 = 360 \cdot \frac{P_{\text{осв}}}{P_{p.\Sigma}} = 360 \frac{200}{1131,4} = 63,7^\circ.$$

Розрахунок картограми навантажень для інших цехів та підрозділів радіотехнічного заводу представлено у вигляді таблиці В.1.

Координати умовного центру електричних навантажень (ЦЕН) ЦРУ 10 кВ заводу визначаються за формулами:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i P_{p.i.\Sigma}}{\sum_{i=1}^n P_{p.i.\Sigma}} = 3027908,9 / 11192,3 = 270,5 \text{ м};$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_{p.i.\Sigma}}{\sum_{i=1}^n P_{p.i.\Sigma}} = 3489287,2 / 11192,3 = 311,8 \text{ м},$$

де  $x_i, y_i$  – координати  $i$ -го цеху або підрозділу на генеральному плані заводу;

$n$  – кількість виробничих цехів і допоміжних підрозділів заводу;

$P_{p.i.\Sigma}$  – розрахункове сумарне навантаження  $i$ -го цеха.

Центр електричних навантажень заводу знаходиться в точці з координатами  $x_0 = 270,5 \text{ м}$ ,  $y_0 = 311,8 \text{ м}$ . Дослідження показують, що досягти зниження річних витрат можливо шляхом зміщення ЦРУ 10 кВ у напрямку джерела живлення на деяку відстань від розрахункового ЦЕН. Тому планується спорудження ЦРУ в точці з координатами (207; 306) м.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	20

### 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ

#### 3.1 Схема приєднання та вибір напруги живлення

З метою забезпечення високої ефективності системи зовнішнього електропостачання радіотехнічного заводу, яка критично залежить від оптимального вибору напруги та конфігурації схеми, для цієї системи було прийнято рішення про використання напруги 10 кВ. Цей вибір обґрунтовується такими чинниками:

- безпосередня близькість джерела живлення – підстанції енергосистеми;
- завод характеризується як споживач середньої потужності;
- забезпечення підвищеної пропускної здатності кабельних ліній (КЛ) при незмінних перетинах;
- використання підвищеної напруги сприяє зниженню втрат потужності в електротехнічному обладнанні, що, у свою чергу, покращує якість електроенергії.

Електротехнічна система електроспоживання радіотехнічного заводу має відповідати наступним критеріям:

- забезпечувати зручність і безпеку при експлуатації та необхідної надійності як у нормальному, так і в після аварійному режимах роботи;
- мати високу економічну ефективність стосовно інвестиційних витрат, експлуатаційних витрат і втрат електроенергії;
- поступове підвищення надійності при переході від нижчих до вищих ієрархічних рівнів системи електропостачання.

Враховуючи вищезазначені фактори, для зовнішнього електропостачання радіотехнічного заводу обрано в якості джерела живлення підстанцію енергосистеми, на якій встановлено два силові трансформатори номінальною потужністю 25 МВА кожен і напругою 150/35/10 кВ. Підключення до яких здійснюється за допомогою КЛ довжиною 3,8 км напругою 10 кВ. На території підприємства передбачено спорудження центральної розподільчої установки 10 кВ, з двома робочими секціями шин.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		21

### 3.2 Вибір напруги та схеми внутрішнього електропостачання

При розробці системи внутрішнього електропостачання підприємства пріоритетними вважаються такі критерії, як надійність, економічна ефективність і якість електроенергії в мережі.

Внутрішня електрична мережа заводу може бути побудована за радіальним, магістральним або комбінованим принципом.

Радіальні схеми характеризуються прямою передачею електроенергії від джерела живлення до приймача. На підприємствах малої та середньої потужності для живлення концентрованих споживачів застосовують одноступінчасті радіальні схеми. Завдяки використанню таких схем стає можливим глибоке секціонування всієї системи електропостачання, що і є їхньою головною перевагою.

У випадках, коли кількість споживачів є значною і радіальні схеми розподілу електроенергії втрачають свою ефективність, застосовують магістральні схеми. Ключова перевага магістральних схем – це зменшення кількості комутаційних апаратів. Застосування зазначених схем є найбільш доцільним за умови розташування підстанцій близького лінійного в межах території підприємства. Рекомендовано приєднувати до однієї магістралі не більше 2-3 цехових трансформаторів потужністю 2500-1000 кВА.

Магістральні схеми поділяють на одиночні, двійні та *n*-магістральні. Одиночні магістралі без резервування застосовуються виключно для живлення споживачів III категорії. Схеми з 2-ма і більше наскрізними магістралями забезпечують високий рівень надійності та можуть використовуватися для споживачів будь-якої категорії У нормальному режимі роботи секції шин ПС чи РУ роз'єднані. У після аварійному режимі електроспоживачів ПС підключають до магістралі, що лишилася у роботі.

Зазвичай у проектній та експлуатаційній практиці внутрішньозаводські розподільні мережі 10 В не будуються виключно за радіальним чи виключно за магістральним принципом. Комбінування переваг обох типів схем дозволяє створити систему внутрішнього електропостачання з оптимальними техніко-економічними показниками.

Враховуючи вищезазначені фактори, розглядаємо наступні варіанти організації внутрішнього електропостачання заводу:

1. На території заводу споруджується ЦРУ 10 кВ із застосуванням радіальної схеми живлення, де КЛ мають глухе приєднання до трансформаторів цехових підстанцій (як показано на рис. 3.1);

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					22

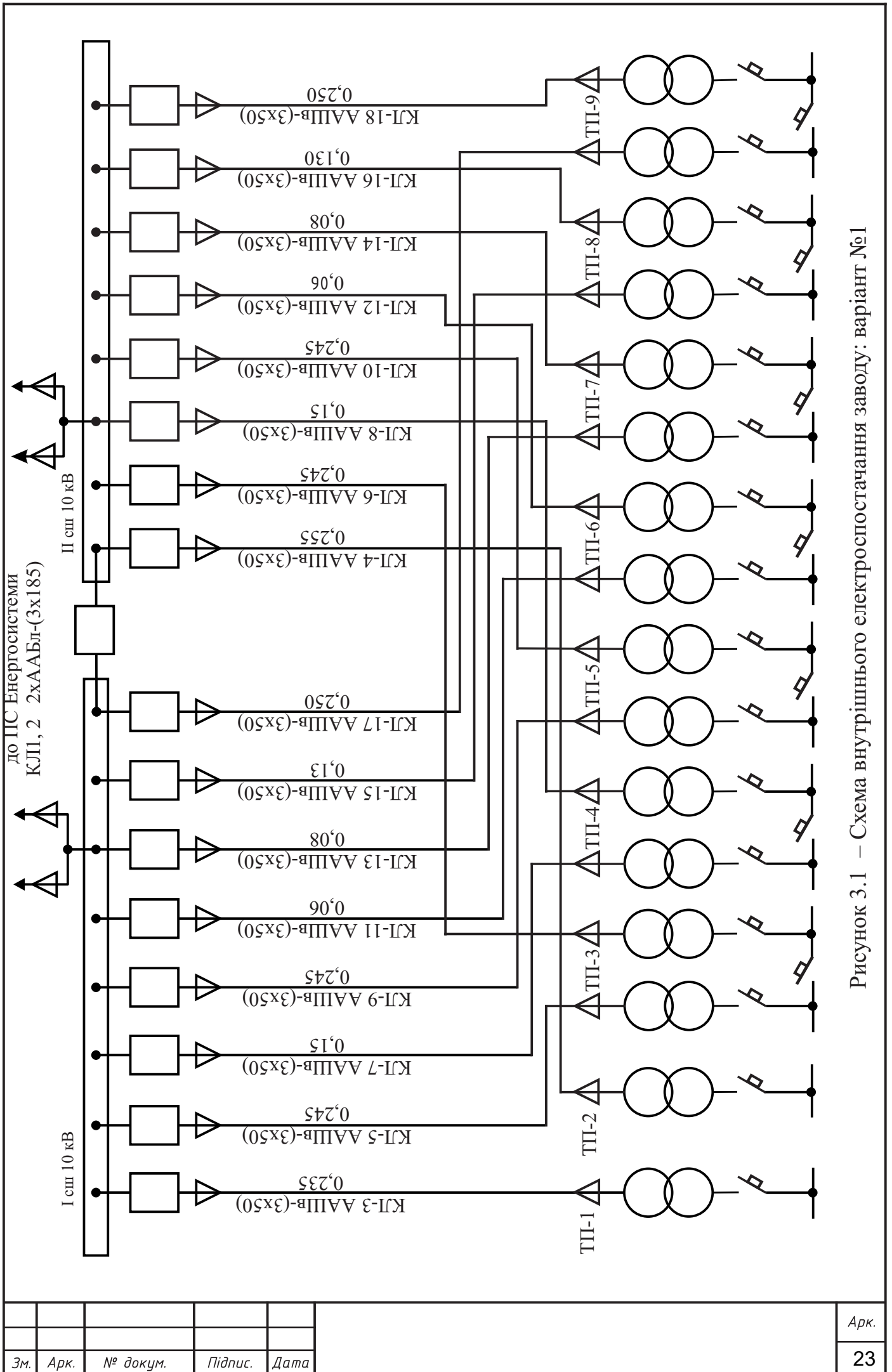


Рисунок 3.1 – Схема внутрішнього електропостачання заводу: варіант №1

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

2. На території заводу споруджується ЦРУ 10 кВ з використанням магістральної схеми живлення цехових ПС. Підключення трансформаторів до кабельних ліній реалізується через запобіжник і вимикач навантаження (рис. 3.2).

Остаточний вибір проектного рішення здійснюється за результатами порівняльного аналізу приведених витрат для кожного із намічених варіантів.

### 3.2.1. Вибір кабельних ліній 10 кВ

Проведемо детально вибір для КЛ-7, 8 для варіанту №1.

Розрахункові струми у КЛ-7(8) (ТП-4) становитимуть:

- нормальний режим:

$$I_{\text{р.кл-7(8)}} = \frac{S_{\text{р.тп4}}}{n\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{1403,7}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 40,6 \text{ А};$$

- післяаварійний режим:

$$I_{\text{р.п.ав.кл-7(8)}} = \frac{S_{\text{р.тп4}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{1403,7}{\sqrt{3} \cdot 10} = 80,1 \text{ А}.$$

Наразі, в якості попереднього рішення, розглядається кабель марки ААШв. За умовою термічної стійкості (див. р 6, п. 62.) його мінімальний перетин складе  $50 \text{ мм}^2$ , а тривало допустимий струм –  $I_{\text{доп}} = 134 \text{ А}$  [1].

Допустимий струм кабелю:

$$I_{\text{доп}} = k_{\text{з.н}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,75 \cdot 134 = 100,5 \text{ А}.$$

де  $k_{\text{з.н}}$  – коефіцієнт зниження навантаження кабелю, внаслідок прокладання поряд у траншеї 6-ти кабелів [1].

Допустимий струм перевантаження кабелю на час ліквідації аварії:

$$I_{\text{ав.д}} = k_{\text{д.а.п}} \cdot I_{\text{доп}} = 1,25 \cdot 100,5 = 125,6 \text{ А},$$

де  $k_{\text{д.а.п}}$  – коефіцієнт допустимого перевантаження кабельної лінії (до 6 год [1]), за умови, що її завантаження нормальному режимі було менше 0,6:

$$k_{\text{з}} = \frac{I_{\text{р}}}{I'_{\text{р}}} = \frac{40,6}{125,6} = 0,4 < 0,6.$$

При виході з ладу одного кабелю, той, що залишився у роботі повинен забезпечити живлення всі електроприймачів цехової ТП-4:

$$I_{\text{ав.доп}} = 125,6 > I_{\text{ав.р}} = 80,1 \text{ А}.$$

Отже, кабель ААШв-(3х50), який було попередньо обрано, відповідає всім встановленим вимогам, приймаємо його до подальшого розгляду.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		24

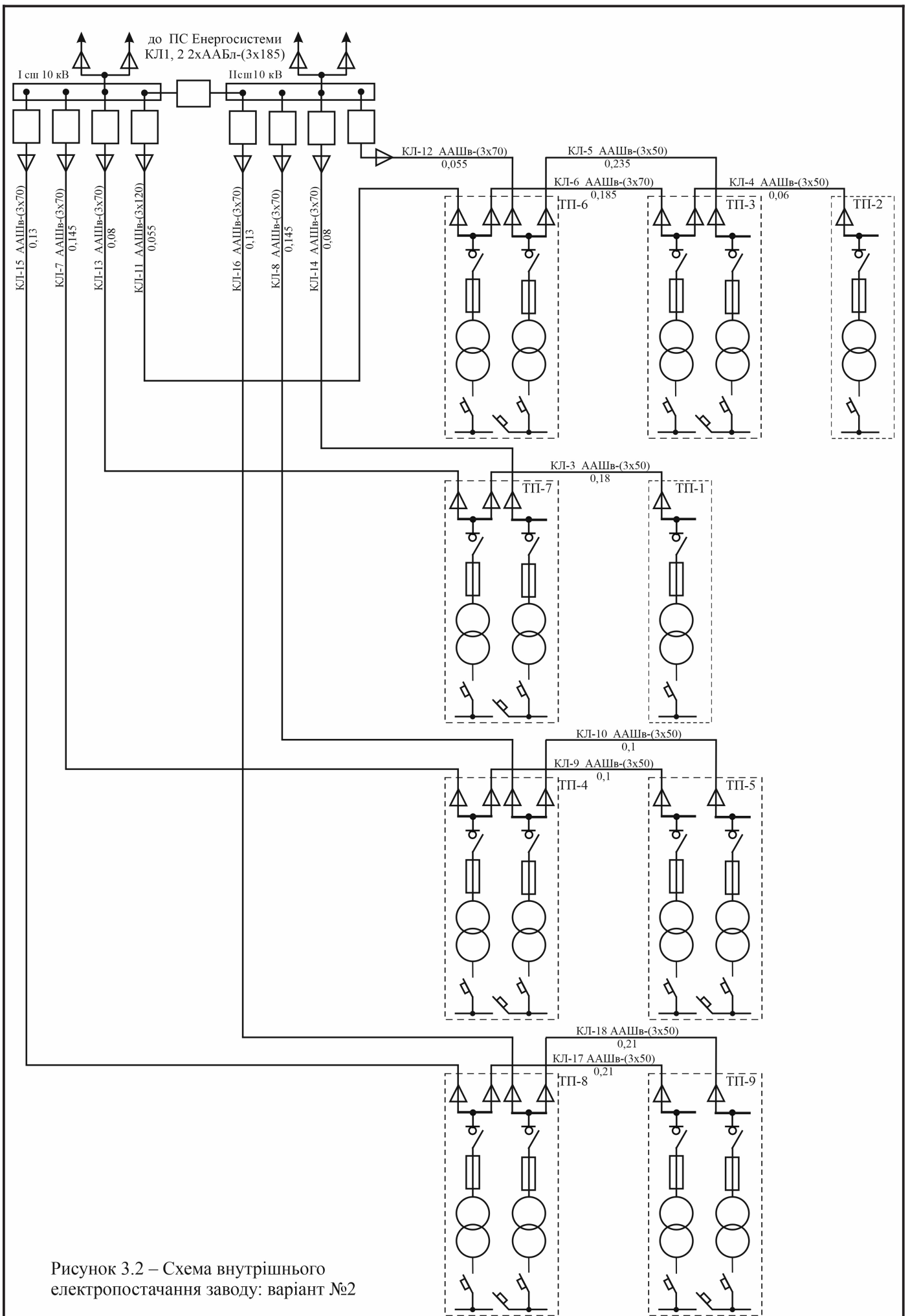


Рисунок 3.2 – Схема внутрішнього електропостачання заводу: варіант №2

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Методика вибору інших кабелів аналогічна приведеній, тому їх вибір виконано у табл. 3.1. Щоб обрати магістральні кабельні лінії за варіантом №2, було визначено їхні розрахункові навантаження. Розрахунок та отримані результати наведено в таблиці Г.1.

### 3.2.2. Вибір схеми електропостачання

У якості критерію вибору схеми електропостачання заводу приймаємо мінімум приведених витрат. Для варіанту №1 вони становитимуть:

$$ПВ_1 = E_n \cdot K_1 + C_1 + B_1 + Z_1 = 0,12 \cdot 5747,4 + 886,7 + 235,2 + 0,152 = 1811,8 \text{ тис. грн.}$$

де  $C_1$  – щорічні видатки на утримання системи електропостачання, грн./рік;

$E_n$  – нормативний показник ефективності, приймаємо  $E_n = 0,12$ ;

$K_1$  – сукупні капіталовкладення в реалізацію схеми, тис. грн.;

$B_1$  – щорічні збитки від втрат електроенергії в мережі, тис. грн./рік;

$Z_1$  – збитки від перерв у електропостачанні внаслідок аварій у електромережі, пропорційні її рівню надійності, грн./рік.

Таблиця 3.1 – Вибір КЛ розподільної мережі 10 кВ заводу

№ вар	№ КЛ	№ ЕП	$I_p, A$	Тип КЛ	$I_{доп}, A$	$k_{з.н}$	$k_{ав.д}$	$I_{доп}, A$	$k_{ап}$	$I_{ав} < I_{ав.д}, A$
1	3	ТП1	68,6	ААШВ-(3x50)	134	0,9	1,25	120,6	1,0	68,6 < 150,8
	4	ТП2	55,0	ААШВ-(3x50)	134	0,9	1,25	120,6	1,0	55,0 < 150,8
	5, 6	ТП3	41,3	ААШВ-(3x50)	134	0,75	1,25	100,5	2,0	82,7 < 125,6
	7,8	ТП4	40,6	ААШВ-(3x50)	134	0,75	1,25	100,5	2,0	81,1 < 125,6
	9, 10	ТП5	41,8	ААШВ-(3x50)	134	0,75	1,25	100,5	2,0	83,5 < 125,6
	11, 12	ТП6	41,1	ААШВ-(3x50)	134	1,0	1,25	134,0	2,0	82,3 < 167,5
	13, 14	ТП7	41,0	ААШВ-(3x50)	134	0,9	1,25	120,6	2,0	82,1 < 150,8
	15, 16	ТП8	40,8	ААШВ-(3x50)	134	0,9	1,25	120,6	2,0	81,7 < 150,8
	17, 18	ТП9	41,5	ААШВ-(3x50)	134	0,9	1,25	120,6	2,0	83,0 < 150,8
2	11	ТП6	134,8	ААШВ-(3x120)	218	0,87	1,2	189,7	1,7	225,1 < 227,6
	6	ТП-3	97,7	ААШВ-(3x70)	162	0,87	1,2	140,9	1,5	146,6 < 169,1
	4	ТП-2	55,0	ААШВ-(3x50)	134	1,00	1,25	134,0	1,0	55,0 < 167,5
	12	ТП-6	81,6	ААШВ-(3x70)	162	0,87	1,25	140,9	2,0	163,3 < 176,2
	5	ТП-3	41,3	ААШВ-(3x50)	134	0,87	1,25	116,6	2,0	82,7 < 145,7
	13	ТП-7	97,0	ААШВ-(3x70)	162	0,90	1,2	145,8	1,5	145,5 < 175,0
	3	ТП-1	68,6	ААШВ-(3x50)	134	1,00	1,25	134,0	1,0	68,6 < 167,5
	14	ТП-7	82,1	ААШВ-(3x70)	162	0,90	1,25	145,8	2,0	164,1 < 182,3
	7, 8	ТП-4	82,0	ААШВ-(3x70)	162	0,87	1,25	140,9	2,0	164,0 < 176,2
	9, 10	ТП-5	41,8	ААШВ-(3x50)	134	0,90	1,25	120,6	2,0	83,5 < 150,8
	15, 16	ТП-8	82,3	ААШВ-(3x70)	162	0,90	1,25	145,8	2,0	164,5 < 182,3
17, 18	ТП-9	41	ААШВ-(3x50)	134	0,90	1,25	120,6	2,0	83,0 < 150,8	

### 3.2.3. Загальна сума капіталовкладень за варіантами

Визначення сукупних капіталовкладень у реалізацію схеми для кожного наміченого варіанту базується на укрупнених вартісних показниках її елементів. Детальний розрахунок подано у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок загальної суми капіталовкладень за варіантами

№ вар.	Найменування елемента схеми	Одиниця	Кількість	Вартість одиниці, тис. грн	Вартість всього, тис. грн
I	Шафи КРУ 10 кВ з вакуумними вимикачами	шт.	16	195,0	3120,0
	Кабельна лінія ААШв-(3х50)	км	2,81	935,0	2627,4
	Всього				<b>5747,4</b>
II	Шафи КРУ 10 кВ з вакуумними вимикачами	шт.	8	195,0	1560,0
	Вимикач навантаження із запобіжником ВНР-400	шт.	16	28,7	459,2
	Кабельна лінія ААШв-(3х120)	км	0,055	1406,0	77,3
	Кабельна лінія ААШв-(3х70)	км	0,95	1103,0	1047,9
	Кабельна лінія ААШв-(3х50)	км	1,095	935,0	1023,8
	Всього				<b>4168,2</b>

### 3.2.4. Розрахунок поточних витрат

Визначимо річні поточні витрати на шафи КРУ 10 кВ для варіанту №1:

$$C_1 = \frac{K \cdot H_a}{100} + \frac{K \cdot H_e}{100} = \frac{3120 \cdot 15}{100} + \frac{3120 \cdot 5}{100} = 624 \text{ тис.грн./рік}$$

де  $K$  – вартість шаф КРУ 10 кВ з вимикачами, тис. грн.;

$H_a$  – норма на відрахувань амортизацію, %. Для обладнання приймаємо рівною 15%, а для кабельних ліній – 5% від його вартості;

$H_e$  – норма відрахувань на експлуатацію, %. Для обладнання та кабельних ліній приймаємо рівною 5% від їх вартості.

Аналогічним чином проведено розрахунок поточних витрат для інших елементів обох намічених варіантів. Розрахунок поточних витрат за варіантами схеми та його результати представлено в таблиці 3.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		27

Таблиця 3.3 – Розрахунок поточних витрат.

№ вар.	Найменування елемента схеми	Норми, %		Витрати, тис. грн.			
		$H_a$	$H_e$	$K$	$A$	$E$	$C$
I	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	15,0	5,0	3120,0	468,0	156,0	624,0
	Кабельна лінія ААШВ-(3х70)	5,0	5,0	2627,4	131,4	131,4	262,7
	Всього						886,7
II	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ	15,0	5,0	1560,0	234,0	78,0	312,0
	Вимикач навантаж. із запобіжником	15,0	5,0	459,2	68,9	23,0	91,8
	Кабельна лінія ААШВ-(3х120)	5,0	5,0	77,3	3,9	3,9	7,73
	Кабельна лінія ААШВ-(3х70)	5,0	5,0	1047,9	52,4	52,4	104,8
	Кабельна лінія ААШВ-(3х50)	5,0	5,0	1023,8	51,2	51,2	102,4
	Всього						618,7

## 3.2.5. Вартість втрат електроенергії

Розглянемо детально методику розрахунку вартості втрат електроенергії на прикладі КЛ-3 варіанту №1.

Вартість втрат електроенергії в КЛ-3:

$$B = c_0 \cdot \Delta E_H = 8,8567 \cdot 4360,4 = 38618,8 \text{ грн.},$$

де  $c_0$  – вартість електричної енергії, грн. /кВт·год;

$\Delta E_H$  – навантажувальні втрати електроенергії у КЛ-3:

$$\Delta E_{\text{кл}} = \Delta P_{\text{н.кл}} \cdot \tau = \Delta p_{\text{кл}} \cdot l \cdot k_3^2 \cdot \tau = 44 \cdot 0,235 \cdot 0,57^2 \cdot 1300,8 = 4360,4 \text{ кВт·год};$$

$\Delta p_{\text{пл}}$  – питомі втрати активної потужності у кабелі заданого перерізу при його повному навантаженні, кВт/км;  $l$  – довжина КЛ-3, км;

У таблиці 3.4 проведено розрахунок вартості втрат електроенергії для ін. КЛ.

Таблиця 3.4 – Розрахунок вартості втрат електроенергії в кабельних лініях

№ вар	Назва ЕП	Номер КЛ	Тип КЛ	$\Delta p$ , кВт/км	$k_3$	$l_{\Sigma}$ , км	$\Delta P$ , кВт	$\Delta E$ , кВт·год	$B$ , грн.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	Кабельна лінія	3	ААШВ-(3х50)	44	0,57	0,235	3,3	4350,1	38618,8
		4	ААШВ-(3х50)	44	0,46	0,255	2,3	3037,7	26938,1
		5, 6	ААШВ-(3х50)	44	0,41	0,490	3,6	4742,9	41820,7
		7, 8	ААШВ-(3х50)	44	0,40	0,300	2,2	2798,1	24716,0
		9, 10	ААШВ-(3х50)	44	0,42	0,490	3,7	4840,8	42869,1
		11, 12	ААШВ-(3х50)	44	0,31	0,120	0,5	647,7	5784,2
		13, 14	ААШВ-(3х50)	44	0,34	0,160	0,8	1060,3	9385,5
		15, 16	ААШВ-(3х50)	44	0,34	0,260	1,3	1706,8	15105,9
		17, 18	ААШВ-(3х50)	44	0,34	0,500	2,6	3388,4	29984,0
Всього						2,810		26572,8	235222,2

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

продовження табл. 3.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
II	Кабельна лінія	11	ААШВ-(3x120)	54	0,71	0,055	1,5	1950,7	17297,7
		6	ААШВ-(3x70)	44	0,69	0,185	3,9	5090,6	44967,6
		4	ААШВ-(3x50)	44	0,41	0,060	0,4	579,0	5134,1
		12	ААШВ-(3x70)	50	0,58	0,055	0,9	1200,5	10638,4
		5	ААШВ-(3x50)	44	0,35	0,235	1,3	1690,5	14905,5
		13	ААШВ-(3x70)	44	0,67	0,080	1,6	2026,8	17950,9
		3	ААШВ-(3x50)	44	0,51	0,180	2,1	2698,9	23960,1
		14	ААШВ-(3x70)	44	0,56	0,080	1,1	1451,0	12843,0
		7, 8	ААШВ-(3x70)	50	0,58	0,290	4,9	6382,8	56456,3
		9, 10	ААШВ-(3x50)	44	0,35	0,200	1,1	1372,1	12151,1
		15, 16	ААШВ-(3x70)	44	0,56	0,260	3,6	4738,0	41956,8
17, 18	ААШВ-(3x50)	44	0,34	0,420	2,2	2846,3	25186,5		
Всього						2,100		32027,1	283448,0

### 3.2.6. Збитки від перерв у електропостачанні

Варіант №1. Збитки від аварійно недоданої електроенергії:

$$Z_1 = y_0 \cdot P_{\text{cp}} \cdot T_a = 126 \cdot 3097,8 \cdot 4,03 \cdot 10^{-4} = 0,152 \text{ тис. грн.}$$

де  $y_0$  – питомий показник збитку внаслідок недоданої електроенергії із-за аварійних відключень, приймаємо 126 грн./кВт·год;

$P_{\text{cp}}$  – середньорічне активне навантаження радіотехнічного заводу

$$P_{\text{cp}} = P_p \cdot T_M / 8760 = 10383,4 \cdot 2613,5 / 8760 = 3097,8 \text{ кВт};$$

$T_a$  – середньорічний час аварійного простою обладнання

$$T_a = k_a^{(2)} \cdot 8760 = 4,6 \cdot 10^{-8} \cdot 8760 = 4,03 \cdot 10^{-4} \text{ год};$$

$K_a^{(2)}$  – коефіцієнт аварійного простою КЛ-11 та КЛ-12

$$k_a^{(2)} = k_a^2 + 2k_{\text{ап}} = (1,84 \cdot 10^{-6})^2 + 2 \cdot 2,3 \cdot 10^{-8} = 4,6 \cdot 10^{-8} \text{ в.о.};$$

$k_{\text{ап}}$  – коефіцієнт аварійного простою ланки

$$k_{\text{а.п}} = 0,5 \cdot \lambda_a \cdot K_{\text{п}}^2 = 0,5 \cdot 0,008 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ в.о.};$$

$\lambda_a$  – параметр потоку відмов однієї ланки

$$\lambda_a = \sum \lambda_{a.i} = 0,004 + 0,004 = 0,008 \text{ 1/рік};$$

$k_{\text{п}}$  – коефіцієнт, що характеризує запланований час простою однієї ланки

$$k_{\text{п}} = 1,2 \cdot K_{\text{п.мак}} = 1,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ в.о.};$$

$k_a$  – коефіцієнт, що характеризує аварійний час простою двох ланок

$$k_a = \lambda_a \cdot T_B = 0,008 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4} = 1,84 \cdot 10^{-6} \text{ в.о.};$$

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					29

$T_B$  – середній час відновлення однієї ланки:

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{a.i} \cdot T_{Bj}}{\lambda_a} = \frac{(0,004 \cdot 0,45 + 0,004 \cdot 0,0039) \cdot 10^{-3}}{0,008} = 2,3 \cdot 10^{-4}, \text{ год/рік.}$$

Варіант №2. Збитки від аварійно недоданої електроенергії:

$$Z_2 = y_0 \cdot P_{cp} \cdot T_a = 126 \cdot 3097,8 \cdot 8,06 \cdot 10^{-3} = 3,146 \text{ тис. грн.}$$

де  $T_a$  – середньорічний час аварійного простою

$$T_a = K_a^{(2)} \cdot 8760 = 9,2 \cdot 10^{-7} \cdot 8760 = 8,06 \cdot 10^{-3}, \text{ год;}$$

$k_a^{(2)}$  – коефіцієнт, що характеризує аварійний час простою двох ланок схеми

$$k_a^{(2)} = k_a^2 + 2k_{a,п} = (4,4 \cdot 10^{-5})^2 + 2 \cdot 4,6 \cdot 10^{-7} = 9,2 \cdot 10^{-7} \text{ в.о.};$$

$k_{aп}$  – коефіцієнт аварійного простою

$$k_{aп} = 0,5 \cdot \lambda_a \cdot k_{п} = 0,5 \cdot 0,159 \cdot (2,4 \cdot 10^{-3})^2 = 4,6 \cdot 10^{-7} \text{ в.о.};$$

$\lambda_a$  – параметр потоку відмов однієї ланки

$$\lambda_a = \sum \lambda_{a.i} = 0,004 + 0,004 + 3 \times 0,01 + 0,015 + 0,05 + 0,006 + 0,05 = 0,159 \text{ 1/рік;}$$

$k_a$  – коефіцієнт, що характеризує аварійний час простою однієї ланки

$$k_a = \lambda_a \cdot T_B = 0,159 \cdot 2,76 \cdot 10^{-4} = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ в.о.};$$

$T_B$  – середній час відновлення однієї ланки СЕП:

$$T_B = \frac{\sum \lambda_{a.i} \cdot T_{Bj}}{\lambda_a} = \frac{(0,004 \cdot 0,45 + 0,004 \cdot 0,0039 + 3 \times 0,01 \cdot 0,25)}{0,159} \times \\ \times \frac{(+0,0015 \cdot 0,013 + 0,05 \cdot 0,0042 + 0,06 \cdot 0,4 + 0,05 \cdot 0,2) \cdot 10^{-3}}{0,159} = 2,74 \cdot 10^{-4}, \text{ год/рік}$$

У табл. 3.5 представлено результати техніко-економічного обґрунтування обраних варіантів схеми внутрішнього електропостачання радіотехнічного заводу.

Таблиця 3.5 – Приведені витрати за варіантами

Показники	Од. вим.	Варіант	
		1	2
Капіталовкладення	тис. грн.	5747,4	4168,2
Поточні витрати	тис. грн.	886,7	618,7
Вартість втрат електроенергії	тис. грн.	235,2	283,4
Збитки від недоданої електроенергії	тис. грн.	0,152	3,2
Приведені витрати	тис. грн.	1811,8	1405,5

Приймаємо схему електропостачання заводу за варіантом №2 оскільки приведені витрати для нього менші:  $ПВ_1 = 1811,8 > ПВ_2 = 1405,5$  тис. грн.

## 4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

### 4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір конденсаторних установок

Розрахункова активна потужність на шинах 10 кВ до компенсації:

$$P_p = P_{н.н\Sigma} + \Delta P_{тр} = 11009,0 + 92,6 = 11101,6 \text{ кВт};$$

де  $P_{н.н\Sigma}$  – сумарне активне навантаження цехових ПС (мережа 0,4 кВ):

$$P_{н.н\Sigma} = \sum P_{тп.i} = 867,0 + 817,3 + 1347,5 + 1287,5 + 1208,7 + 1364,5 + 1366,0 + \\ + 1376,5 + 1374,0 = 11009,0 \text{ кВт};$$

$\Delta P_{тр\Sigma}$  – сумарні втрати активної потужності у трансформаторах цехових ПС:

$$\Delta P_{тр\Sigma} = \sum \Delta P_{тр.i} = 8,7 + 7,8 + 11,1 + 10,2 + 9,2 + 11,3 + 11,3 + 11,5 + 11,5 = 92,6 \text{ кВт};$$

Розрахункова реактивна потужність на шинах 10 кВ до компенсації:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_{тр} = 0 + 10105,6 + 482,5 = 10588,1 \text{ квар};$$

де  $Q_{н.н\Sigma}$  – сумарне реактивне навантаження цехових ПС (мережа 0,4 кВ):

$$Q_{н.н\Sigma} = \sum Q_{тп.i} = 373,1 + 418,9 + 1680,2 + 1211,4 + 810,8 + 1421,0 + \\ + 1380,4 + 1496,2 + 1414,6 = 10105,6 \text{ квар};$$

$\Delta Q_{тр\Sigma}$  – сумарні втрати реактивної потужності у трансформаторах цехових ПС:

$$\Delta Q_{тр\Sigma} = \sum \Delta Q_{тр.i} = 46,6 + 41,6 + 57,5 + 52,7 + 46,8 + 58,9 + 59,0 + \\ + 59,8 + 59,6 = 482,5 \text{ квар}.$$

Економічно доцільна величина реактивної потужності, що енергопостачальна компанія може передати від Об'єднаної енергетичної системи:

$$Q_e = P_p \cdot \text{tg}\varphi_{св} = 11101,6 \cdot 0,15 = 1665,2 \text{ квар}.$$

Мінімальне число цехових трансформаторів

$$n_T = P_n / (k_{с.з} \cdot S_{н\text{ тр}}) = 11009,0 / (0,723 \cdot 1000) = 15,2 \text{ шт.};$$

де  $k_{с.з}$  – середній коефіцієнт завантаження цехових трансформаторів (з табл. А.1).

Приймаємо  $n_T = 16$  шт.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		31

Значення реактивної потужності, що технічно може бути передана через цехові трансформатори

$$Q_1 = \sqrt{(n_T \cdot S_{T.ном} \cdot k_3)^2 - P_H^2} = \sqrt{(16 \cdot 1000 \cdot 0,723)^2 - 11009,0^2} = 3552,5 \text{ квар.}$$

Необхідна потужність конденсаторних установок у мережі 0,4 кВ

$$Q_{ку,нн} = Q_H - Q_1 = 10105,6 - 3552,5 = 6553,1 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки стандартні конденсаторні установки 0,4 кВ загальною потужністю  $Q_{ку,нн} = 6650$  квар.

Уточнене значення реактивної потужності, яку необхідно передавати через цехові трансформатори:

$$Q_1 = Q_H - Q_{ку,нн} = 10105,6 - 6650 = 3455,6 \text{ квар.}$$

Необхідна потужність конденсаторних установок у мережі 10 кВ:

$$Q_{ку,вн} = Q_p - Q_{кн} - Q_c = 10588,1 - 3466,5 - 1665,2 = 2369,8 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки стандартні конденсаторні установки 10 кВ сумарною потужністю  $Q_{ку,вн} = 2400$  квар (4x600 квар).

#### 4.2 Вибір кількості, потужності та місця розташування конденсаторних установок

У центральній розподільній установці 10 кВ заводу приймаємо до встановлення конденсаторні установки УКРМ-10-600УЗ, по дві штуки на кожній секції шин.

Конденсаторні установки 0,4 кВ встановлюються на цехових трансформаторних підстанціях. Їх потужність ділиться порівну між секціями шин.

Визначимо сумарну потужність конденсаторних установок, що необхідно встановити на ТП 3.

Максимальний обсяг реактивної потужності, який трансформатори ТП-3 спроможні передати

$$Q_{1.тп-3} = \sqrt{(n \cdot S_{T.ном} \cdot k_3)^2 - P_{нн}^2} = \sqrt{(2 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 1347,5^2} = 379,7 \text{ квар.}$$

Розрахункова потужність конденсаторних установок ТП-3

$$Q_{ку,нн} = Q_{нн} - Q_{п} = 1671,3 - 379,7 = 1291,6 \text{ квар.}$$

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

Приймаємо до установки дві стандартні конденсаторні установки марки УКРМ-0,4-650-25-2-1 загальною потужністю  $Q_{\text{ку.нн.тп-3}} = 1300$  квар.

Вибір встановленої потужності конденсаторних установок для інших цехових ПС, аналогічний представленому, тому виконаний у вигляді табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок кількості, потужності та визначення місця встановлення конденсаторних установок НН

№ ТП	$n_{\text{гр}}$ , шт.	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$Q_1$ , квар	$Q_{\text{ку.нн}}$ , квар	$N_{\text{ку}}$	Тип КУ	$Q_{\text{ку}\Sigma}$ , квар	$k_3$	$S_{\text{тп}}$ , кВА
1	1	867,0	373,1	373,4	-0,3	0	-	0,0	0,94	943,9
2	1	817,3	418,5	418,0	0,5	0	-	0,0	0,92	919,2
3	2	1347,5	1671,3	379,7	1291,6	2	УКРМ-0,4-650/8-50	1300,0	0,70	1398,0
4	2	1287,5	1117,5	549,9	567,7	2	УКРМ-0,4-325/5-25	650,0	0,68	1369,9
5	2	1208,7	810,8	706,4	104,3	1	УКРМ-0,4-100/4-25	100,0	0,70	1402,2
6	2	1364,5	1424,2	313,4	1110,8	2	УКРМ-0,4-550/7-25	1100,0	0,70	1402,7
7	2	1366,0	1380,4	306,8	1073,6	2	УКРМ-0,4-550/7-25	1100,0	0,70	1394,4
8	2	1376,5	1496,2	255,5	1240,7	2	УКРМ-0,4-650/8-25	1300,0	0,70	1391,3
9	2	1374,0	1413,7	268,4	1145,3	2	УКРМ-0,4-550/7-25	1100,0	0,70	1408,5
Всього	16	11009,0	10105,6	3571,5	6534,1	13		6650,0		

## 5 ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

### 5.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових підстанцій

У розподільній мережі 10 кВ радіотехнічного заводу переважно використовуються ПС з двома трансформаторами. Таке технічне рішення обґрунтовано кількома важливими факторами.:

- основна частка навантаження трансформаторних підстанцій – споживачі II-ї категорії за надійністю електропостачання;
- цехи компактно розташовані на території заводу;
- завод працює у дві зміни;
- на заводі не передбачено складського запасу трансформаторів.

Кількість трансформаторів цехових підстанцій та їхня номінальна потужність є взаємозалежними параметрами. Для отриманого розрахункового навантаження  $S_p$  кількість трансформаторів змінюватиметься пропорційно до їх одиничної потужності. Кількість трансформаторів кожної цехової підстанції вибрано без виконання техніко-економічного аналізу, з урахуванням рекомендованих коефіцієнтів завантаження:

- 0,7-0,8 для виробничих цехів де переважно більшістю є споживачі II-ї категорії за надійністю електропостачання зі встановленими двотрансформаторними ПС;
- 0,9 для виробничих цехів де переважають споживачі II-ї категорії за надійністю електропостачання зі встановленими однострансформаторними ПС.

Отже, попередньо планується встановлення трансформаторів з одиничною потужністю 1000 кВ·А. Зокрема, 14 трансформаторів на двотрансформаторних ПС і два – на однострансформаторних.

Перевіримо правильність вибору трансформаторів за методом питомої густини навантаження [4]. Згідно цього методу сумарна кількість трансформаторів заводу  $n_{тр.Σ}$  зв'язана з їх економічно доцільною потужністю:

$$n_{тр.Σ} = S_p / (k_3 / S_{т.е.ном}) = 10845,0 / (0,7 \cdot 1000) = 15,5 \text{ шт.}$$

де  $S_{т.е.ном}$  – номінальна економічно обґрунтована потужність трансформатора, яка визначається питомою густиною навантаження

$$s_0 = S_p / F = 10282,7 / 89304 = 0,12 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2.$$

Так як  $s_0 = 0,12 < 0,2 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$ , то приймаємо  $S_{т.ном} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ . Отже, загальна кількість трансформаторів цехових ПС заводу складе 16 шт.

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

Всі прийняті до установки трансформатори перевіряємо за умовою роботи в післяварійному режимі:

$$S_{н.т} \cdot k_{п.т} > S_{ав.р};$$

де  $k_{п.т}$  – коефіцієнт перевантаження, для трансформаторів двотрансформаторних підстанцій рівний 1,4;

$S_{ав.р}$  – розрахункова потужність у післяварійному режимі.

У таблиці 5.1 представлено результати вибору та верифікації трансформаторів для кожної з цехових підстанцій.

Таким чином, проведені розрахунки підтвердили, що попередньо обрані трансформатори марки ТМГ-1000/10/0,4 здатні забезпечити споживачів необхідною потужністю як в нормальному режимі роботи, так і в післяварійному з допустимим перевантаженням. Відповідно, приймаємо їх до встановлення.

## 5.2 Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій

Вибір місця встановлення цехових трансформаторних підстанцій (ТП) обумовлюється параметрами електричних навантажень (їх величиною, типом, розташуванням на генплані). Щоб мінімізувати відстань до електроприймачів 0,4 кВ, такі підстанції монтують на території виробничих цехів, орієнтуючись на центри зосередження електричних навантажень. Дане розміщення силових трансформаторів дозволяє зменшити довжину розподільної мережі 0,4 кВ, суттєво знизити втрати потужності та енергії в ній, а також забезпечити можливість використання магістральних (ШМА) і розподільчих (ШРА) шинопроводів.

Цехові підстанції (ПС) радіотехнічного заводу розташовуються безпосередньо на території виробничих приміщеннях, максимально наближено до найбільш потужних електроприймачів. У механо-штампувальному (корпус №1), заготівельно-збиральному (корпус №2), механо-штампувальному, механо-збиральному (корпус №4) та електроцеху встановлюються внутрішньоцехові двотрансформаторні підстанції. Споживачі III категорії, що знаходяться в адміністративно-побутових корпусах, отримують живлення від прибудованих одностанційних ПС.

Конфігурація вбудованих і внутрішньоцехових підстанцій підбирається для кожного випадку окремо, з обов'язковим урахуванням таких ключових чинників: архітектурно-конструктивні та експлуатаційні вимоги, планувальні рішення приміщень, розташування виробничого обладнання, характеристики навколишнього середовища, умови для ефективного охолодження трансформаторів, а також стандарти пожежної безпеки та електрозахисту.

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

Таблиця 5.1 – Вибір трансформаторів цехових ПС

№ ТП	Назва споживача	Категорія ЕП за безпеку бійністю електропостачання	$S_p$ , кВт	$k_{зд}$	$k_{з,ав}$	$S_{р,т}$ , кВА	Кількість та тип трансформаторів, кВА	$k_{п}$	$S_{н,т} \cdot k_{п} > S_{ав,р}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ідальня №1	III							
	СКБ Ч.1	III							
	СКБ Ч.2	III							
	Всього по ТП №1		943,9	0,94	0,94	943,9	ТМГ-1000/10/0,4	1	1000 > 943,9
2	Адмінпобутовий корпус №1	III							
	Адмінпобутовий корпус №2	III							
	АПЧ	III							
	Будинок культури	III							
	Всього по ТП №2		919,2	0,92	0,92	919,2	ТМГ-1000/10/0,4	1	1000 > 919,2
3	Збиральний цех №8	II							
	Лабораторія	I							
	Цех №6 (монтажний)	II							
	Всього по ТП №3		1398,0	0,70	1,4	699,0	2×ТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1398,0
4	Листоштампувальний цех	II							
	Склад	III							
	Реагентне господарство	III							
	Насосна станція	II							
	Всього по ТП №4		1369,9	0,68	0,68	685,0	2×ТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1369,9

продовження табл. 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Компресорна станція	II							
	Всього по ТП №5		1402,2	0,70	0,70	701,1	2×ТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 ≈ 1402,2
6	Корпус №1								
	Котельня	II							
	Всього по ТП №6		1402,7	0,70	0,70	701,3	2×ТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 ≈ 1402,7
7	Механо-штампувальний цех	II							
	Адмінібутова частинаі МШЦ	III							
	Всього по ТП №6		1394,4	0,70	0,70	697,2	2×ТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1394,4
8	Гараж	III							
	Електроцех	III							
	Фарбувальний цех	II							
	Деревообробний цех	II							
	Всього по ТП №8		1391,3	0,70	1,39	695,6	2×ТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 > 1394,4
9	Корпус №4	II							
	АПЧ корпусу №4	III							
	Кузнечне відділення	II							
	Склад	III							
	Склад ОКіК	III							
	Блок складів	III							
	Всього по ТП №9		1408,7	0,70	1,41	704,2	2×ТМГ-1000/10/0,4	1,4	1400 ≈ 1408,7

## 6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КЗ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ

### 6.1 Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок струмів КЗ детально розглянуто на прикладі однієї магістральної лінії розподільчої мережі 10 кВ (див. рис. 6.1). Для інших ліній відповідні розрахунки подано у вигляді таблиці 6.1.

Розрахунок виконуємо у відносних базисних одиницях. Приймаємо значення базисних величин: напруга  $U_6 = 10,5$  кВ, потужність  $S_6 = 500$  МВ·А.

Базисний струм:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_{cp}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55,0 \text{ кА.}$$

Параметри схеми заміщення енергосистеми та мережі 10 кВ заводу (рис. 6.2):

- опір енергосистеми в максимальному режимі роботи

$$x_{c*} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot I_{кз.с.мах} \cdot U_{cp}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 9,4 \cdot 10,5} = 5,85 \text{ в.о.};$$

- кабельних ліній:

КЛ-1:

$$r_{кл1*} = \frac{r_0}{n} \cdot l_{кл1} \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = \frac{0,167}{2} \cdot 3,8 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 2,878 \text{ в.о.};$$

$$x_{кл1*} = \frac{x_0}{n} \cdot l_{кл1} \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = \frac{0,077}{2} \cdot 3,8 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,327 \text{ в.о.};$$

де  $n$  – кількість паралельних гілок лінії;

$r_0, x_0$  – питомий опір КЛ, відповідно, активний та індуктивний, Ом/км;

$l$  – довжина гілки кабельної лінії, км;

КЛ-11:

$$r_{кл11*} = r_0 \cdot l_{кл11} \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,258 \cdot 0,055 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,129 \text{ в.о.};$$

$$x_{кл11*} = x_0 \cdot l_{кл11} \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0,081 \cdot 0,049 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,040 \text{ в.о.};$$

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

ПС Энергосистемы

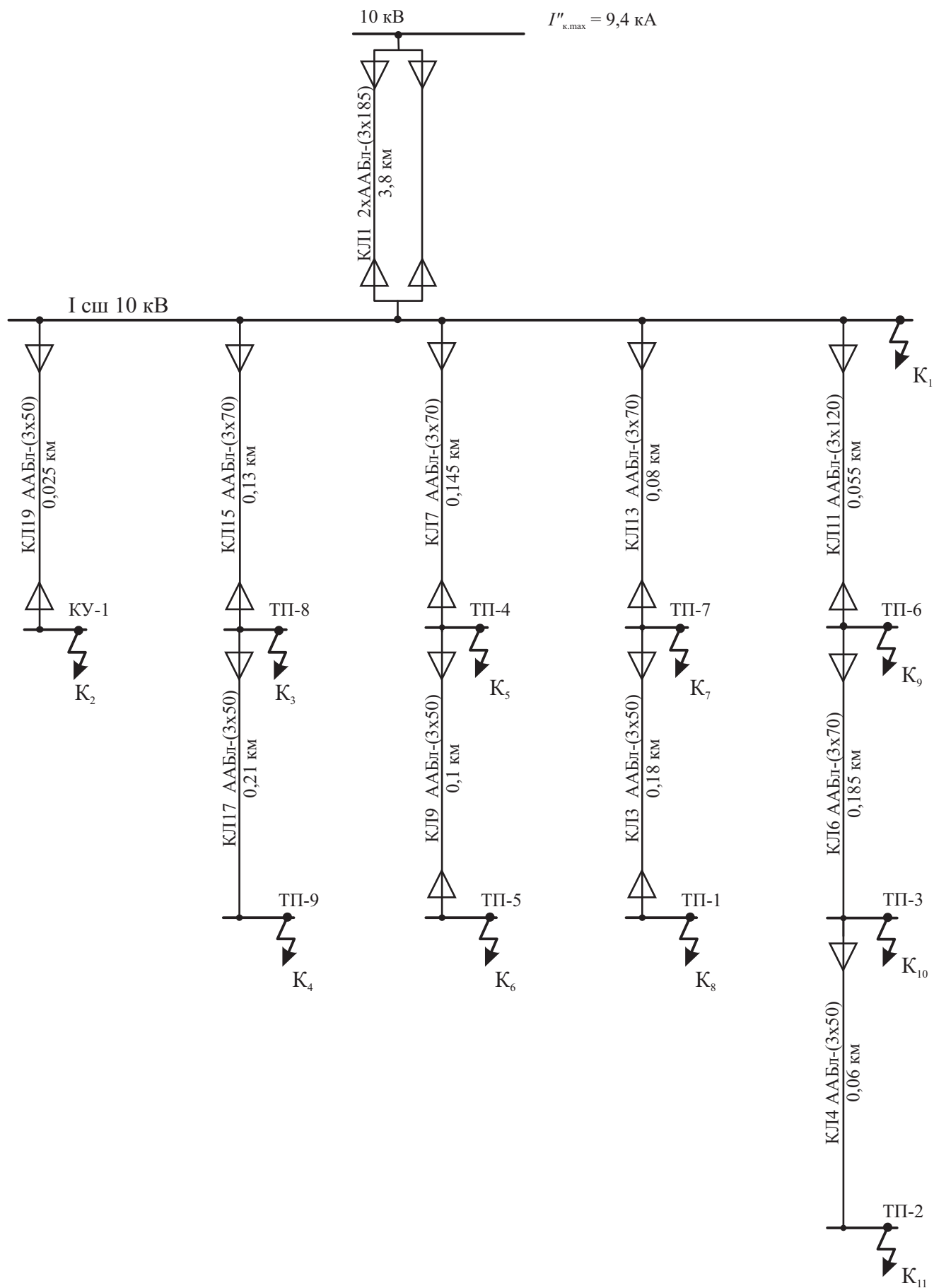


Рисунок 6.1 - Розрахункова схема СЕП заводу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Арк.



КЛ-6:

$$r_{\text{кл6}*} = r_0 \cdot l_{\text{кл6}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,443 \cdot 0,185 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,743 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл6}*} = x_0 \cdot l_{\text{кл6}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,086 \cdot 0,185 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,144 \text{ в.о.};$$

КЛ-4:

$$r_{\text{кл4}*} = r_0 \cdot l_{\text{кл4}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,62 \cdot 0,06 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,337 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{кл4}*} = x_0 \cdot l_{\text{кл4}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{cp}}^2} = 0,09 \cdot 0,06 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,049 \text{ в.о.};$$

Результующий опір у колі точок короткого замикання:

-  $K_1$ :

$$r_{\text{рез1}*} = r_{\text{кл1}*} = 2,878 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез1}*} = x_{\text{с}*} + x_{\text{кл2}*} = 5,85 + 1,327 = 7,177 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез1}*} = \sqrt{r_{\text{рез1}*}^2 + x_{\text{рез1}*}^2} = \sqrt{2,878^2 + 7,177^2} = 7,732 \text{ в.о.};$$

-  $K_9$ :

$$r_{\text{рез9}*} = r_{\text{рез1}*} + r_{\text{кл11}*} = 2,878 + 0,129 = 3,007 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез9}*} = x_{\text{рез1}*} + x_{\text{кл11}*} = 7,177 + 0,04 = 7,217 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез9}*} = \sqrt{r_{\text{рез9}*}^2 + x_{\text{рез9}*}^2} = \sqrt{3,007^2 + 7,217^2} = 7,818 \text{ в.о.};$$

-  $K_{10}$ :

$$r_{\text{рез10}*} = r_{\text{рез9}*} + r_{\text{кл6}*} = 3,007 + 0,743 = 3,75 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез10}*} = x_{\text{рез9}*} + x_{\text{кл6}*} = 7,217 + 0,144 = 7,361 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез10}*} = \sqrt{r_{\text{рез10}*}^2 + x_{\text{рез10}*}^2} = \sqrt{3,75^2 + 7,361^2} = 8,261 \text{ в.о.};$$

-  $K_{11}$ :

$$r_{\text{рез11}*} = r_{\text{рез10}*} + r_{\text{кл4}*} = 3,75 + 0,337 = 4,087 \text{ в.о.};$$

$$x_{\text{рез11}*} = x_{\text{рез10}*} + x_{\text{кл4}*} = 7,361 + 0,049 = 7,41 \text{ в.о.};$$

$$z_{\text{рез11}*} = \sqrt{r_{\text{рез11}*}^2 + x_{\text{рез11}*}^2} = \sqrt{4,087^2 + 7,41^2} = 8,463 \text{ в.о.}$$

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

Надперехідні струми короткого замикання у розрахункових точках КЗ:

$$I_1'' = \frac{E_*'' \cdot I_{\text{б}}}{z_{\text{рез1}*}} = \frac{1,55,0}{7,732} = 7,11 \text{ кА}; \quad I_9'' = \frac{E_*'' \cdot I_{\text{б}}}{z_{\text{рез9}*}} = \frac{1,55,0}{7,818} = 7,03 \text{ кА};$$

$$I_{10}'' = \frac{E_*'' \cdot I_{\text{б}}}{z_{\text{рез10}*}} = \frac{1,55,0}{8,261} = 6,66 \text{ кА}; \quad I_{11}'' = \frac{E_*'' \cdot I_{\text{б}}}{z_{\text{рез11}*}} = \frac{1,55,0}{8,463} = 6,50 \text{ кА};$$

де  $E_*''$  – надперехідна ЕРС, приймаємо 1.

Ударні струми короткого замикання в розрахункових точках:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} k_{\text{уд1}} \cdot I_1'' = \sqrt{2} \cdot 1,034 \cdot 7,11 = 10,4 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд9}} = \sqrt{2} k_{\text{уд9}} \cdot I_9'' = \sqrt{2} \cdot 1,033 \cdot 7,03 = 10,28 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд10}} = \sqrt{2} k_{\text{уд10}} \cdot I_{10}'' = \sqrt{2} \cdot 1,029 \cdot 6,66 = 9,69 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд11}} = \sqrt{2} k_{\text{уд11}} \cdot I_{11}'' = \sqrt{2} \cdot 1,028 \cdot 6,50 = 9,44 \text{ кА}$$

де  $k_{\text{уд}}$  – ударні коефіцієнти:

$$k_{\text{y1}} = 1 + e^{(-0,01/T_{\text{a1}})} = 1 + e^{(-0,01/0,0030)} = 1,034;$$

$$k_{\text{y9}} = 1 + e^{(-0,01/T_{\text{a9}})} = 1 + e^{(-0,01/0,0029)} = 1,033;$$

$$k_{\text{y10}} = 1 + e^{(-0,01/T_{\text{a10}})} = 1 + e^{(-0,01/0,0028)} = 1,029;$$

$$k_{\text{y11}} = 1 + e^{(-0,01/T_{\text{a11}})} = 1 + e^{(-0,01/0,003)} = 1,028;$$

$T_{\text{a}}$  – час повного затухання аперіодичної складової струму короткого замикання:

$$T_{\text{a1}} = \frac{x_{\text{рез1}}}{\omega \cdot r_{\text{рез1}}} = \frac{7,177}{314,16 \cdot 2,878} = 0,003 \text{ с};$$

$$T_{\text{a9}} = \frac{x_{\text{рез9}}}{\omega \cdot r_{\text{рез9}}} = \frac{7,217}{314,16 \cdot 3,007} = 0,0029 \text{ с};$$

$$T_{\text{a10}} = \frac{x_{\text{рез10}}}{\omega \cdot r_{\text{рез10}}} = \frac{7,361}{314,16 \cdot 3,75} = 0,0028 \text{ с};$$

$$T_{\text{a11}} = \frac{x_{\text{рез11}}}{\omega \cdot r_{\text{рез11}}} = \frac{7,41}{314,16 \cdot 4,087} = 0,0028 \text{ с}.$$

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

Таблиця 6.1 – Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ радіотехнічного заводу

Точка КЗ	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$l$ , км	$r_{кл}$ , В.О.	$x_{кл}$ , В.О.	$r_{рез}$ , В.О.	$x_{рез}$ , В.О.	$z_{рез}$ , В.О.	$T_a$ , с	$k_y$	$I''$ , кА	$i_{уд}$ , кА
$K_1$	0,0835	0,0385	3,800	2,878	1,327	2,878	7,177	7,732	0,0030	1,034	7,11	10,40
$K_2$	0,62	0,09	0,025	0,141	0,020	3,019	7,197	7,804	0,0029	1,033	7,05	10,29
$K_3$	0,443	0,086	0,130	0,522	0,101	3,400	7,278	8,033	0,0029	1,031	6,84	9,98
$K_4$	0,62	0,09	0,210	1,181	0,171	4,581	7,449	8,745	0,0027	1,025	6,29	9,11
$K_5$	0,773	0,086	0,145	1,017	0,113	3,895	7,290	8,265	0,0028	1,028	6,65	9,68
$K_6$	0,62	0,09	0,100	0,562	0,082	3,869	7,367	8,322	0,0028	1,029	6,61	9,61
$K_7$	0,443	0,086	0,080	0,321	0,062	3,199	7,239	7,914	0,0029	1,032	6,95	10,14
$K_8$	0,62	0,09	0,180	1,012	0,147	4,212	7,386	8,502	0,0028	1,027	6,47	9,39
$K_9$	0,258	0,081	0,055	0,129	0,040	3,007	7,217	7,818	0,0029	1,033	7,03	10,28
$K_{10}$	0,443	0,086	0,185	0,743	0,144	3,750	7,361	8,261	0,0028	1,029	6,66	9,69
$K_{11}$	0,62	0,09	0,060	0,337	0,049	4,087	7,410	8,463	0,0028	1,028	6,50	9,44

## 6.2 Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Проведемо детальний вибір кабельних ліній, що забезпечують живлення ЦРУ 10 кВ радіотехнічного заводу від підстанції енергосистеми.

Розрахункові струми для цих КЛ:

- нормальний режим роботи

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{10504,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 288,8 \text{ А};$$

- післяаварійний режим роботи

$$I_{p.ав} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{10504,8}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 577,6 \text{ А}.$$

З довідника приймаємо броньований кабель ААБл. Попередньо, вибираємо два кабелі з перерізом струмопровідних жил ( $3 \times 185$ ) і з  $I_{доп} = 275$  А кожного.

Проведемо контроль відповідності прийнятих КЛ, зокрема:

- за критерієм допустимого тривалого струму навантаження:

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

$$I_p = 288,8 \leq I'_d = 0,87 \cdot 2 \cdot 275 = 478,5 \text{ А};$$

де  $I_{доп}$  – тривалодопустимий струм кабелю за умовами нагріву [1];

де  $k_{п}$  – коефіцієнт, який враховує кількість одночасно працюючих кабелів, прокладених в одній траншеї. Для даного випадку (4 кабелі) його значення приймається згідно рекомендацій [1];

- за критерієм роботи в післяаварійному режимі:

$$I_{p.ав} \leq I_{ав.д} = k_{ав} \cdot I'_{доп};$$

$$I_{p.ав} = 577,6 < I_{ав.д} = 1,25 \cdot 478,5 = 598,1 \text{ А};$$

$k_{ав}$  – підвищувальний коефіцієнт, що враховує допустиме перевантаження кабелю з паперовою просоченою ізоляцією на період ліквідації аварії, у випадку, коли коефіцієнт завантаження кабелю був не більшим за 0,6:

$$k_3 = I_p / I'_d = 288,8 / 478,5 = 0,60.$$

Мінімальний переріз струмопровідних жил кабельної лінії КЛ-1, який задовольняє критерію термічної стійкості:

$$F_{min} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{100} \cdot \sqrt{46} \cdot 1000 = 67,8 \text{ мм}^2;$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	44

де  $C$  – розрахунковий коефіцієнт, приймаємо 100,  $A \cdot c^{0.5}/\text{мм}^2$ ;

$B_k$  – термічний імпульс:

$$B_k = \left( \frac{I_{\text{п.о.}}}{2} \right)^2 (t_{\text{відк}} + T_{\text{ал}}) = \left( \frac{9,4}{2} \right)^2 \cdot (2,042 + 0,04) = 46,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

де  $I''_{\text{п.о.}}$  – надперехідний струм КЗ безпосередньо за пучком кабелів [1].

Перевірка:

$$F_{\text{min}} = 67,8 < F_{\text{кл}} = 185 \text{ мм}^2;$$

Таким чином, КЛ-1 і КЛ-2, що зібрані з двох кабелів 2×ААБл-(3х185) відповідають всім умовам вибору, тому приймаємо їх до прокладання.

Оскільки попередній вибір перерізів струмопровідних жил кабельних ліній, що живлять цехові трансформаторні підстанції, було проведено в розділі 3.1 на основі техніко-економічних критеріїв, то наступним етапом є виключно перевірка цих ліній на відповідність критерію термічної стійкості.

Мінімальний переріз струмопровідних жил кабелів розподільної мережі 10 кВ, який задовольняє критерію термічної стійкості:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_k} = \frac{1}{100} \cdot \sqrt{27,56} \cdot 1000 = 52,5 \text{ мм}^2;$$

$$B_k = I_{\text{п.о.}}^2 (t_{\text{відк}} + T_{\text{а}}) = 7,11^2 \cdot (0,542 + 0,0029) = 27,56 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

де  $I_{\text{п.о.}}$  – періодична складова струму КЗ на шинах 10 кВ ЦРУ заводу.

Отже, приймаємо для кабелів розподільній мережі 10 кВ заводу найближчий менший стандартний переріз струмопровідних жил кабелів 50 мм<sup>2</sup>.

## 6.3 Вибір високовольтного електрообладнання

### 6.3.1 Вибір вимикачів

Високовольтні вимикачі перевіряються за наступними умовами: напругою електроустановки, номінальним струмом, струмом аварійного режиму, відключаючою спроможністю, здатністю відключати аперіодичну складову та повний струм КЗ, електродинамічною та термічною стійкістю.

Проведемо детальний вибір вимикача для лінійних шаф РУ 10 кВ ПС енергосистеми. На попередньому етапі для розгляду обирається вимикач ВР1-10-20/630У3. Перевірку правильності вибору вимикача проведено у вигляді табл. 6.2. Перевірка виконується, якщо значення каталожного параметру більше за розрахункове.

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

Таблиця 6.2 – Вибір лінійного вимикача

Розрахункові дані	Каталожні дані вимикача
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{НОМ} = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 288,8 \text{ А}$	$I_{НОМ} = 630 \text{ А}$
$I_{р.ав} = 577,6 \text{ А}$	$I_{НОМ} = 630 \text{ А}$
$I_{пт} \approx I'' = 9,4 \text{ кА}$	$I_{ВИМ.НОМ} = 20 \text{ кА}$
$i_{ат} = 3,62 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot \frac{\beta_H}{100} I_{ДИН} = \sqrt{2} \cdot \frac{40}{100} \cdot 20 = 11,3 \text{ кА}$
$I'' = 9,4 \text{ кА}$	$I_{ДИН} = 52 \text{ кА}$
$i_{уд} = \sqrt{2} k_{уд} \cdot I'' = \sqrt{2} (1 + e^{-0,01/0,04}) 10,8 = 27,2 \text{ кА}$	$\sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot I_{ДИН} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20 = 50,9 \text{ кА}$
$B_K = 184,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = I_{Н.Т}^2 \cdot t_{Т.Н} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

де  $i_{ат}$  – миттєве значення аперіодичної складової струму КЗ у момент  $\tau$ :

$$i_{а.т} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 9,4 \cdot e^{-0,052/0,04} \approx 3,62 \text{ кА};$$

$\tau$  – мінімальний час затримки від виникнення короткого замикання до моменту розходження силових контактів вимикача:

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

$t_{рз.мін}$  – найменше значення часу, за який спрацьовує релейний захист, с;

$t_{в.ч}$  – номінальний власний час розмикання для вимикача типу ВР1, приймаємо з діапазону 28-42 мс;

$t_{в.в}$  – час відключення вимикача:

$$t_{в.в} = t_{в.ч} + t_{рз.мах} = 0,042 + 2,0 = 2,042 \text{ с};$$

$t_{рз.мах}$  – найбільше значення часу, за який спрацьовує релейний захист, с;

$B_K$  – розрахунковий термічний імпульс

$$B_K = I_{п.о}^2 (t_{відк} + T_a) = 9,4^2 \cdot (2,042 + 0,04) = 184,0 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

Виходячи з того, що попередньо вибраний вимикач типу ВР1-10-20/630УЗ задовольняє всі критерії вибору, приймаємо його до встановлення.

Окремий вибір ввідних і лінійних вимикачів для ЦРУ 10 кВ заводу не виконується Це зумовлено тим, що розрахункові струми короткого замикання та робочі струми на цих приєднаннях (після лінійних вимикачів РУ 10 кВ ПС енергосистеми) не перевищують каталожні струми вимикача типу ВР1-10-20/630УЗ. Відповідно, для всіх позицій ЦРУ – ввідних, секційного та лінійних – приймаються саме ці вимикачі.

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

### 6.3.2 Вибір високовольтних запобіжників

Критеріями вибору запобіжників є: наступні: конструктивне виконання, номінальні значення напруги і струму патрону та плавкої вставки, граничний струм відключення. Попередньо вибираємо до розгляду, запобіжник серії ПКТ103-10 з номінальним струмом патрона  $I_{п.ном} = 100$  А та струмом плавкої вставки  $I_{п.в} = 100$  А. Перевірка правильності попереднього вибору запобіжника проведена у вигляді табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Вибір високовольтного запобіжника

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{дій} = 10$ кВ	$U_{max} = 12$ кВ
$I_p = 41,5$ А	$I_{пв.н} = 100$ А
$I_{р.ав} = 83$ А	$I_{пв.н} = 100$ А
$I = 6,3$ кА	$I_{вим.н} = 12,5$ кА

де  $I_p$  – розрахунковий струм запобіжника у нормальному режимі роботи:

$$I_p = \frac{S_{р.тп9}}{\sqrt{3}U_n \cdot n} = \frac{1435,8}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 41,5 \text{ А.}$$

$S_{р.тп9}$  – розрахункова потужність ТП №9, кВ·А;

$I_{макс}$  – струм, що протікає через запобіжник у післяаварійному режимі роботи розподільної мережі

$$I_{макс} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1435,8}{\sqrt{3} \cdot 10} = 83,0 \text{ А.}$$

Таким чином, попередньо прийнятий до розгляду запобіжник ПКТ-103-10-100-12,5УЗ задовольняє всі критерії вибору, тому приймаємо його до встановлення.

### 6.3.3 Вибір вимикачів навантаження

Критерії вибору вимикачів навантаження загалом подібні до критеріїв вибору вимикачів 10 кВ. Однак, ключова відмінність полягає в їх перевірці за струмом відключення: для вимикачів навантаження розрахунковим є струм післяаварійного режиму, а не струм короткого замикання.

Попередньо до розгляду приймаємо вимикач навантаження ВНР-10/400-10ЗУЗ. Перевірка правильності його попереднього вибору виконана у вигляді табл. 6.4.

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					47

Таблиця 6.4 – Вибір вимикача навантаження

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{дій}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{max}} = 12 \text{ кВ}$
$I_{\text{р}} = 40 \text{ А}$	$I_{\text{відкл.ном}} = 400 \text{ А}$
$I_{\text{макс}} = 80 \text{ А}$	$I_{\text{макс}} = 800 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 14,8 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.н}} = 25 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = I^2 \cdot (t_{\text{в}} + T_{\text{а}}) = 8,8^2 \cdot (0,008 + 0,003) = 0,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{н.т}}^2 \cdot t_{\text{т.н}} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

де  $I_{\text{відкл.ном}}$  – номінальний струм відключення, А;

$I_{\text{макс}}$  – найбільший струм відключення, А;

$t_{\text{в}} = 0,008$  – очікуваний час спрацювання запобіжника, с [9].

З огляду на відповідність попередньо обраного вимикача навантаження ВНРП-10/400-10зУЗ всім критеріям вибору, приймаємо його до встановлення.

#### 6.3.4. Вибір трансформаторів власних потреб ЦРУ

Головними електроспоживачами власних потреб ЦРУ радіотехнічного заводу є оперативні кола, система телемеханіки, а також освітлення. Оскільки потужність споживачів власних потреб невелика, то їх підключають до мережі 220/380 В, яка живиться від знижувальних трансформаторів. Детальний розрахунок загальної потужності навантажень власних потреб ЦРУ 10 кВ заводу виконано в табличній формі (табл. 6.5). Значення потужностей для конкретних навантажень прийняті згідно до рекомендацій [9, 10].

Потужність трансформаторів для власних потреб визначається на основі розрахункового навантаження, а також з урахуванням коефіцієнта попиту. ЦРУ 10 кВ має дві системи шин тому, приймаємо до установки два ТВП. Їх потужність вибирається із умови

$$S_{\text{т.ном}} \geq S_{\text{р}};$$

де  $S_{\text{р}}$  – розрахункова повна потужність споживачів власних потреб ЦРУ:

$$S_{\text{р}} = k_{\text{п}} \cdot \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{39^2 + 0^2} = 31 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

де  $k_{\text{п}}$  – коефіцієнт попиту, для РУ з двома ТВП приймаємо рівним 0,8.

Отже, приймаємо до установки на ЦРУ 10 кВ два трансформатори ТСКС-40/10:

$$S_{\text{т.ном}} = 40 > S_{\text{р}} = 31 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		48

Таблиця 6.5 – Розрахунок потужності власних потреб споживачів ЦРУ 10 кВ

Вид споживача	Установлена потужність, кВт		cosφ	Навантаження	
	одиниці	сумарна		$P_{уст}$ , кВт	$Q_{уст}$ , квар
Підігрів шаф КРУ	1×16	16	1,0	16,0	0,0
Підігрів релейних відсіків шаф КРУ	1×16	16	1,0	16,0	0,0
Опалення, освітлення, вентиляція приміщення ЦРУ	-	5	1,0	5,0	0,0
Споживання оперативними колами РЗА	-	2	1,0	2,0	0,0
Всього				39	0

### 6.3.5. Вибір вимірювальних трансформаторів

Вибір трансформатора струму (ТС) лінійної шафи РУ 10 кВ ПС енергосистеми.

Трансформатори струму вибираються за номінальною напругою, струмом I-го кола, II-м навантаженням у відповідному класі точності та динамічною стійкістю. Приймаємо до розгляду ТС ТОЛУ-10-1/600. Перевірку правильності вибору виконано в табличній формі (табл. 6.6).

Таблиця 6.6 – Вибір трансформатору струму лінійної шафи ПС енергосистеми

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ
$I_p = 288,8$ А	$I_{ном} = 600$ А
$I_{р.макс} = 577,6$ А	$I_{ном} = 600$ А
Клас точності 0,5S	0,5S
$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I'' = \sqrt{2} \cdot (1 + e^{-0,01/0,04}) \cdot 9,4 = 23,6$ кА	$i_{дин} = 90$ кА
$B_k = I''^2 \cdot (t_B + T_a) = 9,4^2 (2,042 + 0,04) = 184$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_k = I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 18^2 \cdot 3 = 972$ кА
$Z_2 = 0,135$ Ом	$Z_{2ном} = 0,4$ Ом

де  $Z_2$  – вторинне навантаження ТС, так як  $x_2 = 0$ , то  $Z_2 = r_2$ , Ом.

Орієнтовне значення опору з'єднувальних проводів у колі вимірювання:

$$r'_{пров} = Z_{2ном} - r_{прил} - r_k = 0,4 - 0,01 - 0,05 = 0,34 \text{ Ом};$$

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

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

$$r_{\text{прил}} = S_{\text{прил}}/I_{2.\text{ном}}^2 = 0,23/5^2 = 0,01 \text{ Ом};$$

де  $r_{\text{к}}$  – опір контактів, приймаємо  $r_{\text{кон}} = 0,05 \text{ Ом}$  [11];

$I_{2.\text{ном}}$  – номінальний вторинний струм ТС, А;

$S_{\text{пр}}$  – повна потужність, яку споживають облікові й вимірювальні прилади, В·А.

Розрахунок споживаної приладами приведено у табл. 6.7

Знаючи  $r'_{\text{пров}}$  знаходимо перетин з'єднувальних проводів:

$$s = \frac{\rho_{\text{Cu}} \cdot l_{\text{роз}}}{r'_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 10,4}{0,34} = 0,54 \text{ мм}^2;$$

де  $\rho_{\text{Cu}}$  – питомий опір мідних проводів, Ом/м·мм<sup>2</sup>;

$l$  – довжина з'єднувальних проводів між трансформатором струму та приладами обліку та вимірювання [9]:

$$l = \sqrt{3} \cdot l_{\text{роз}} = \sqrt{3} \cdot 6 = 10,4 \text{ м};$$

За умовою міцності приймаємо переріз проводу  $s = 2,5 \text{ мм}^2$ , згідно [1].

Остаточний опір з'єднувальних проводів:

$$r_{\text{пров}} = \rho \cdot l_{\text{роз}}/s = 0,0175 \cdot 10,4/2,5 = 0,073 \text{ Ом};$$

Вторинне навантаження ТС, остаточно

$$Z_2 = r_{\text{пров}} + r_{\text{прил}} + r_{\text{к}} = 0,073 + 0,012 + 0,05 = 0,135 \text{ Ом}.$$

Оскільки попередньо прийнятий до розгляду ТС ТОЛУ-10-1/600 успішно пройшов перевірки на відповідність усім критеріям вибору, він приймається до встановлення. Процедура вибору ТС для інших приєднань аналогічна до розглянутої, тому їх вибір та перевірка відповідності критеріям вибору проведені у вигляді табл. 6.8 – 6.10.

Таблиця 6.7 – Вторинне навантаження ТС лінійної шафи РУ 10 кВ ПС енергосистеми

Прилад	Тип	Навантаження фази, В·А		
		А	В	С
Лічильник універсальний	ZFY405CL30.00.0020S2	0,125	0,125	0,125
Амперметр	Е-377	0,1	0,1	0,1
Всього		0,23	0,23	0,23

Таблиця 6.8 – Місце встановлення та потужність навантажень ТС

Прилади	Місце установки приладів															
	Ввідна шафа			Секційна шафа			Лінійні шафи (КЛ7, 12, 14-16, 18)			Лінійні шафи (КЛ-19, 21, 20, 22)						
	Навантаження В·А		С	Навантаження В·А		С	Навантаження В·А		А	В	С	Навантаження В·А		А	В	С
Лічильник NIK2303	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-	0,05	0,1	-	-	0,05	0,05
Амперметр Е-377	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	0,1	-	-	0,1	0,1	-	-	0,1	0,1
Всього	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	0,15	-	-	0,15	0,15	-	-	0,15	0,15

Таблиця 6.9 – Вторинне навантаження ТС

Місце установки ТС	$r_{\text{прил}}$ , Ом	$r'_{\text{пров}}$ , Ом	$s$ , мм <sup>2</sup>	$l_{\text{роз}}$ , м	$r_{\text{пров}}$ , Ом	$Z_2$ , Ом
Ввідна шафа ЦРУ 10 кВ	0,004	0,346	2,5	6	0,042	0,096
Шафа секційного вимикача	0,004	0,346	2,5	6	0,042	0,096
Шафи лінійних вимикачів (КЛ7, 12, 14-16, 18)	0,006	0,344	2,5	7	0,049	0,107
Шафи лінійних вимикачів (КЛ-19, 21, 20, 22)	0,006	0,344	2,5	7	0,049	0,107

Таблиця 6.10 – Вибір трансформаторів струму

Умова вибору	Од. вим.	Ввідні шафи ЦРУ 10 кВ заводу	Шафа СВ	Призначення ТС			
				Лінійна шафа (КЛ-11)	Лінійні шафи (КЛ-19, 21, 20, 22)		
$U_{\text{уст}} < U_{\text{ном}}$	кВ			10,0 = 10,0			
$I_p < I_{\text{ном}}$	А	288,8 < 600	293,2 < 300	134,8 < 300	82,3 < 200	97, 0 < 150	41 < 60
$I_{\text{ав}} < I_{\text{ном}}$	А	577,6 < 600	293,2 < 300	225,1 < 300	164,5 < 200	145,5 < 150	41 < 60
Клас точності	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$i_{\text{уд}} < i_{\text{дин}}$	кА	10,4 < 90	10,4 < 72	10,4 < 72	10,4 < 36	10,4 < 36	10,4 < 18,5
$B_{\text{кр}} < B_{\text{к.н}}$	кА <sup>2</sup> ·с	77,8 < 18 <sup>2</sup> ·3 = 972	52,8 < 14,4 <sup>2</sup> ·3 = 622		27,6 < 7,2 <sup>2</sup> ·3 = 156		27,6 < 3,7 <sup>2</sup> ·3 = 41
$Z_2 < Z_n$	Ом	0,096 < 0,4	0,096 < 0,4	0,11 < 0,4		0,11 < 0,4	
Тип ТС прийнятого до установки		ТОЛУ-10-1/600/5	ТОЛУ-10-1/300/5	ТОЛУ-10-1/300/5	ТОЛУ-10-1/200/5	ТОЛУ-10-1/150/5	ТОЛУ-10-1/60/5



**7 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.  
«ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ  
В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ 10 кВ ЗАВОДУ»**

**7.1 Заходи щодо ефективного використання електроенергії**

Ключовими напрямками зростання ефективності використання електроенергії на промислових підприємствах є впровадження заходів з її економії та налагодження оптимального керування електроспоживанням.

Актуальність зниження втрат електроенергії підтверджується тим, що витрати на передачу та перетворення електроенергії в розподільних мережах промислових підприємств досягають 8-12%. Основні причини таких втрат:

- неефективне використання наявних засобів керування режимами електричних мереж, що значною мірою зумовлено відставанням у розвитку систем контролю електроспоживання;

- проектування та експлуатація мереж, орієнтованих виключно на технічні вимоги без урахування енергоефективності;

- використання застарілого електрообладнання;

- недостатня потужність конденсаторних установок;

- обмежена оснащеність технічними засобами для керування потоками активної та реактивної енергії.

За своєю технічною суттю заходи з економії електроенергії доцільно розділити на три основні групи:

1) удосконалення окремих технологічних процесів;

2) зниження споживання активної енергії, завдяки покращенню енергетичних характеристик електротехнічного обладнання;

3) мінімізація втрат електроенергії у всіх компонентах системи електропостачання за рахунок використання новітнього обладнання та ефективного управління режимами його роботи.

Загалом ці заходи поділяються на два основні напрями:

Організаційні заходи – спрямовані на вдосконалення експлуатаційного обслуговування розподільної мережі та оптимізацію її режиму. Вони потребують мінімальних фінансових витрат.

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

Технічні заходи – передбачають реконструкцію та модернізацію розподільної мережі. За капіталоємністю ці заходи діляться на такі:

- безвтратні, впровадження яких не вимагає додаткових фінансових витрат;
- маловитратні, реалізація яких пов'язана з невеликими додатковими витратами (наприклад, до 5% від рівня відповідного економічного показника до впровадження заходу);
- капіталомісткі, здійснення таких заходів пов'язане із значними витратами.

Доцільність впровадження капіталомістких заходів визначається за величиною економії  $E$ , що досягається за рахунок реалізації намічених заходів.

Умова ефективності конкретного заходу має вигляд

$$E > [(E_n + H_a) K_p] + B_d \quad (7.1)$$

де  $E_n$  – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$H_a$  – коефіцієнт амортизаційних відрахувань;

$K_p$  – капіталовкладення на реалізацію заходу;

$B_d$  – додаткові витрати (експлуатація, ремонт).

За термінами реалізації заходи поділяються на:

- оперативні, що реалізуються впродовж місяця;
- середньострокові, що впроваджуються впродовж поточного року;
- перспективні, термін реалізації яких перевищує один рік.

Широкого поширення набули наступні заходи щодо підвищення ефективності використання електроенергії:

- наближення джерел живлення до центрів навантажень;
- вибір раціональної конфігурації розподільної мережі;
- раціональний вибір і оптимізація режиму використання з урахуванням фактичного графіка навантаження силових трансформаторів;
- планування та впровадження заходів, спрямованих на досягнення оптимального рівня компенсації реактивної потужності, з використанням автоматизованих систем регулювання її режимів.
- підтримка раціонального рівня напруги вузлах навантаження;
- встановлення енергозберігаючого обладнання після додаткового техніко-економічного обґрунтування;
- оптимальний вибір перерізу кабельних ліній на основі мінімуму приведених витрат.

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



Коефіцієнт корисної дії (ККД) трансформатора є нелінійною функцією завантаження і має форму асиметричної параболи (рис. 7.2). Він залежить від двох основних складових втрат:

- втрат у магнітопроводі, що практично не залежать від навантаження;
- втрат у обмотках, що пропорційні квадрату струму навантаження.

Такий характер залежності зумовлює зміну ККД у широкому діапазоні в залежності від рівня завантаження трансформатора.

Критерієм економічної ефективності при виборі потужності трансформаторів, як і іншого електрообладнання є мінімум приведених витрат:

$$\Pi_B = E_H K + (\Delta p_{н.х} + k_{3.т}^2 \cdot \Delta p_{к.з}) T_B \cdot c_0, \quad (7.2)$$

де  $T_B$  – кількість годин роботи трансформатора за рік.

Проаналізувавши вираз (7.2) можливо визначити коефіцієнт завантаження трансформаторів, що відповідає мінімуму приведених затрат.

Для трансформаторів ТМГ-1000/10/0,4 він складе:

$$k_{3.опт} = \sqrt{\frac{\Delta p_{н.х}}{\Delta p_{к.з}} + \frac{E_H \cdot K}{c_0 \cdot T_B \cdot \Delta p_{к.з}}} = \sqrt{\frac{0,77}{10,5} + \frac{0,12 \cdot 500100}{8,8567 \cdot 8760 \cdot 10,5}} = 0,38.$$

У спроектованій розподільній мережі  $k_3$  трансформаторів цехових двотрасформаторних ПС у максимальному режимі близькі до 0,7, що триває з 15:00 до 16:00 у зимовий період і з 14:00 до 15:00 у літній період, далі завантаження цехових трансформаторів істотно зменшується (див. рис 1.1), а отже коефіцієнти завантаження наближаються до оптимального.

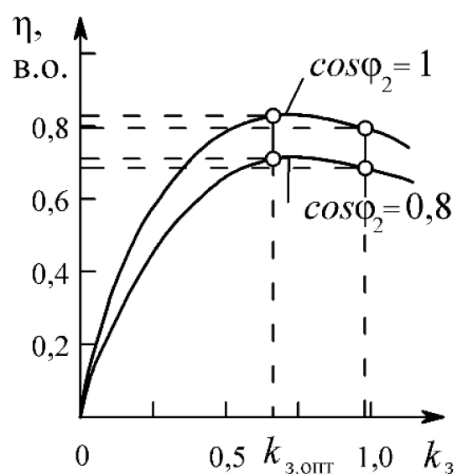


Рисунок 7.2 – Залежність ККД трансформатора від навантаження

### 7.2.2 Раціональне завантаження цехових трансформаторів

При грамотному проектуванні та раціональній експлуатації розподільної мережі заводу, можливо створити умови, при яких завантаження її елементів виявиться ефективним з точки зору збереження електроенергії. При установці  $n$  трансформаторів на ПС економічний режим роботи визначиться кількістю одночасно увімкнених трансформаторів, щоб забезпечити мінімум втрат електроенергії. При цьому слід враховувати і втрати активної потужності, що виникають у мережі в ланці живлення, внаслідок споживання трансформаторами реактивної потужності.

Приведені втрати потужності у трансформаторах можливо виразити так:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{н.х} + \Delta P'_{к.з} \frac{S_{т.ном}^2}{S_{ном.т}^2}, \quad (7.3)$$

де  $\Delta P'_{н.х}$  – приведені втрати активної потужності неробочого ходу, кВт:

$$\Delta P'_{н.х} = \Delta p_{н.х} + k_{з.в} \Delta q_{н.х}, \quad (7.4)$$

$k_{з.в}$  – коефіцієнт зміни втрат;

$\Delta q_{н.х}$  – втрати реактивної потужності трансформатора в режимі неробочого ходу, квар;

$\Delta P'_{к.з}$  – приведені навантажувальні втрати активної потужності:

$$\Delta P'_{к.з} = \Delta p_{к.з} + k_{з.в} \Delta q_{к.з}, \quad (7.5)$$

де  $\Delta q_{к.з}$  – втрати реактивної потужності при роботі трансформатора під навантаженням, квар.

Позначивши  $\Delta P'_{н.х}$  як  $a$  та відношення  $\Delta P'_{к.з} / S_{т.ном}^2$  як  $b$ , отримаємо

$$\Delta P'_T = a + b \cdot S_{т.ном}^2. \quad (7.6)$$

Вираз (7.6) – це рівняння параболи, що дозволяє визначити точки перетину кривих втрат потужності трансформаторів, при відповідних їх навантаженнях:  $S_1$ ,  $S_2$  та  $S_3$ . Значення навантаження, що є точкою переходу від роботи одного трансформатора до іншого (або їх спільної роботи), визначається певними координатами. Ці координати є результатом сумісного розв'язку рівнянь, які моделюють втрати потужності в трансформаторах за умов їх почергової та одночасної експлуатації. У рівняннях індекси відповідають значенням кривих на рис. 7.3.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		57

Із рівності  $\Delta P'_{т1.І} = \Delta P'_{т2.І}$  випливає:

$$S_{н.І} = \sqrt{\frac{a_2 - a_1}{b_1 - b_2}}; \quad (7.7)$$

де  $S_{н}$  – потужність навантаження, при якому втрати потужності у 1-му трансформаторі рівні втратам потужності у 2-му трансформаторі (точка  $S_1$  на рис. 7.3).

Для  $n$  трансформаторів однакової потужності отримаємо:

$$S_{н.І} = S_{ном.т} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot (n-1)}{\Delta P'_x / \Delta P'_k}}. \quad (7.8)$$

При навантаженні, меншому  $S_1$ , економічно виправдана робота одного трансформатора, втрати у якому відповідають кривій 1. При збільшенні навантаження до значення  $S_2$  більш економічна робота 2-х трансформаторів.

Для цехових двотрансформаторних ПС заводу зі встановленими трансформаторами ТМГ-1000/10/0,4 на рис. 7.4 побудовані криві зміни приведених втрат потужності у залежності від навантаження. За якими можливо зробити висновок про наступні доцільні режими роботи трансформаторів:

- при навантаженнях до 420 кВ·А вигідно вмикати один трансформатор;
- при навантаженні більше 420 кВ·А доцільно вмикати два трансформатори.

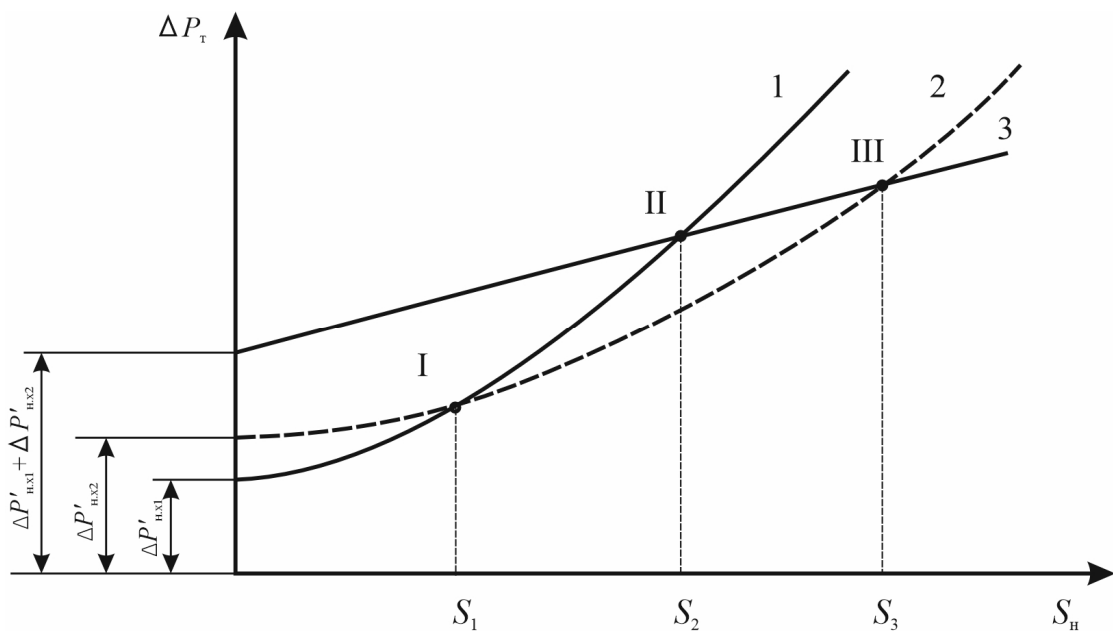


Рисунок 7.3 – Графік зміни приведених втрат активної потужності  $\Delta P'_т$  у силових трансформаторах від величини навантаження  $S_{н}$ .

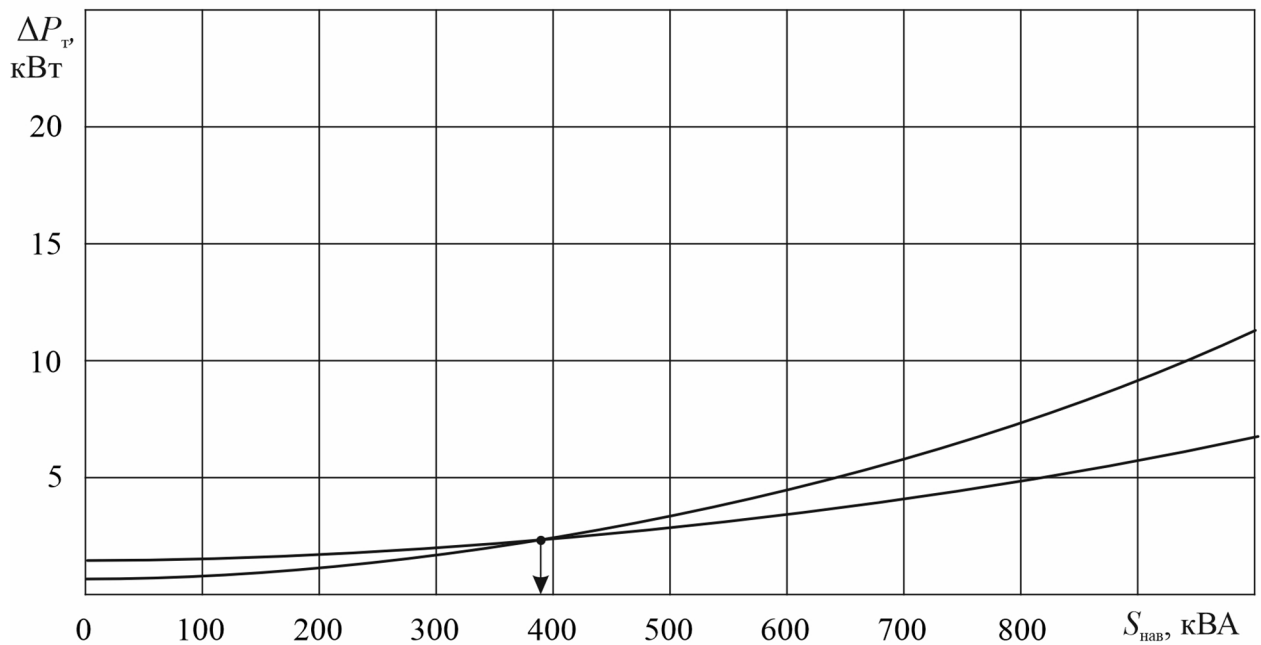


Рисунок 7.4 – Криві зміни приведених втрат потужності у залежності від навантаження трансформаторів ТМГ-1000/0,4

### 7.3. Зниження втрат електроенергії від проведення технічних заходів

Технічні заходи, як правило, є високовитратними і реалізуються на стадії розробки та будівництва розподільної мережі електропостачання заводу. До них відносяться заходи направлені на встановлення додаткових конденсаторних установок, встановлення енергоефективних цехових трансформаторів, прокладання кабелів більшого перерізу тощо. Якщо технічні заходи супроводжуються організаційними, останні також повинні враховуватися при визначенні ефективності.

#### 7.3.1 Вибір економічно доцільного перетину кабельних ліній

Основними елементами розподільної мережі, що визначають загальну величину втрат електроенергії є кабельні лінії електропередавання та трансформатори. Відомо, що більша частина втрат активної потужності припадає на розподільні мережі 10 кВ, незважаючи на те, що в ці мережі вкладається значно більше кольорового матеріалу, наприклад, ніж у мережі 35 кВ. Тому найбільш дієвими заходами зі зниження втрат потужності і електроенергії є ті, що знижують ці втрати у мережах 10 кВ. [11, 12].

Втрати активної потужності у кабельних лініях визначаються як:

$$\Delta P_{\text{кл}} = 3I_{\text{кл}}^2 R_{\text{кл}}, \quad (7.9)$$

де  $I_{\text{кл}}$  – струм у кабельній лінії

$$I_{\text{кл}} = \frac{P_{\text{р.кл}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}} \cos\varphi}; \quad (7.10)$$

$R_{\text{кл}}$  – опір однієї фази КЛ

$$R_{\text{кл}} = \frac{\rho_{\text{Al}} l_{\text{кл}}}{F_{\text{кл}}}; \quad (7.11)$$

де  $P_{\text{л}}$  – потужність навантаження;

$\rho$  – питомий опір матеріалу жили кабелю;

$F_{\text{кл}}$  – перетин лінії.

На основі (7.9) – (7.11) можливо записати

$$\Delta P_{\text{кл}} = \frac{\rho_{\text{Al}} l_{\text{кл}} P_{\text{кл}}^2}{F_{\text{кл}} U_{\text{ном}}^2 \cos^2\varphi}. \quad (7.12)$$

З аналізу (7.12) випливає, що досягти зниження втрати електроенергії в КЛ можливо шляхом збільшення перерізу струмопровідних жил кабелю. Перетин кабелю вибираються на основі технічних умов [1], однак за такого підходу вони мають підвищені втрати потужності. Тому проведемо вибір КЛ розподільної мережі 10 кВ за мінімумом приведених витрат. За основу візьмемо перетини кабельних ліній вибрані за технічними умовами (табл. 3.1) і додатково розглянемо стандартні ближчі більші перетини.

Мінімум приведених витрат для КЛ або ділянки КЛ заданого перетину:

$$П_{\text{в.кл.}i} = E_{\text{н}} \cdot K_i + C_i + B_i, \quad (7.13)$$

де  $E_{\text{н}}$  – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, рівний  $E_{\text{н}} = 0,12$ ;

$K$  – вартість кабелю, тис. / грн.;

$C$  – річні експлуатаційні витрати на передавання та розподіл електроенергії, грн./рік.

$B$  – річна вартість втрат електроенергії в кабельній лінії, грн./рік;

$i$  – номер варіанту перерізу кабелю, що розглядається;

Визначимо мінімум приведених витрат КЛ-11 по якій отримують живлення Т-1 ТП-6, Т-1 ТП-3, ТП-2.

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

Розрахункові струми КЛ:

- нормальний режим:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{2331,5}{\sqrt{3} \cdot 10} = 134,5 \text{ А};$$

з табл. 7.3 приймаємо кабель марки ААШВ-(3х120) з  $I_d = 218 \text{ А}$  за умови його прокладки у землі.

Допустимий струм кабелю:

$$I'_d = k_n \cdot I_{\text{доп}} = 0,87 \cdot 218 = 189,7 \text{ А.}$$

де  $k_n$  – коефіцієнт, що враховує зниження допустимого струмового навантаження кабелю внаслідок прокладання одній траншеї поряд кількох кабелів, приймаємо, для 4-х кабелів відповідно до [1].

Коефіцієнт завантаження КЛ у нормальному режимі роботи

$$k_3 = I_p / I'_d = 134,8 / 189,7 = 0,71.$$

Приведені витрати для КЛ-11 по (7.13) для перерізу кабелю 120 мм<sup>2</sup>:

$$\begin{aligned} P_{\text{в.кл-11.}i=1} &= l_{11} (0,12 \cdot K_{\text{кл-11.1}} + 0,1K_{\text{кл-11.1}} + c_0 \cdot \Delta p_{\text{кл-11.1}} \cdot k_3^2 \cdot \tau) = \\ &= 0,055(0,12 \cdot 1406 + 0,1 \cdot 1406 + 8,8567 \cdot 54 \cdot 0,71^2 \cdot 1300,8) = 343410,3 \text{ грн.} \end{aligned}$$

де  $l_{11}$  – довжина кабельної лінії КЛ-11, км;

$K_{\text{кл-11.1}}$  – капіталовкладення в спорудження КЛ-11 для варіанту  $i = 1$ , тис. грн.;

$c_0$  – вартість 1 кВт год електроенергії, грн.

Для інших варіантів КЛ-11 та інших КЛ розрахунок аналогічний і представлений у вигляді табл. 7.2.

Таблиця 7.1 – Параметри кабелів марки ААШВ, що прийняті до розгляду

№ п/п	Переріз кабелю, мм <sup>2</sup>	Вартість $K_{\text{кл}}$ , грн./км	$I_{\text{доп}}$ , А	$\Delta p_{\text{к.з}}$ , кВт/км
1	50	935 000,0	134,0	44,0
2	70	1 103 000,0	162,0	44,0
3	95	1 269 000,0	192,0	50,0
4	120	1 406 000,0	218,0	54,0
5	150	1 767 000,0	246,0	56,0
6	185	2 037 000,0	275,0	57,0
7	240	2 445 000,0	314,0	58,0

Таблиця 7.2 – Розрахунок приведених витрат для вибору КЛ 10 кВ

№ КЛ	№ ЕП	Тип КЛ	$l$ , км	$I_p$ , А	$I_{\Sigma}$ , А	$I_{\Sigma}$ , А	$k_{\text{пр}}$	$I'_{\Sigma}$ , А	$k_3$	$\Delta P$ , кВт/км	$\Delta E$ , кВт·год	$B$ , грн.	$K$ , грн.	$C$ , грн.	$II_{\text{в.кль}}$ , грн.		
1	2	3	4	5	6	7		8	9	10	11	12	13	14	15	16	
11	ТП-6	ААШВ-(3x120)			218,0			189,7	0,71	54	1,50	1953,1	77330,0	77330,0	7733,00	<b>34310,26</b>	
		ААШВ-(3x150)	0,055	134,8	246,0	0,87	214,0	0,63	56	1,22	1590,6	14087,19	97185,0	97185,0	9718,50	35467,89	
		ААШВ-(3x185)			275,0			239,3	0,56	57	1,00	1295,5	11474,03	112035,0	112035,0	11203,50	36121,73
		ААШВ-(3x240)			314,0			273,2	0,49	57	0,76	993,7	8800,80	134475,0	134475,0	13447,50	38385,30
6	ТП-3	ААШВ-(3x50)						116,6	0,84	44	5,70	7420,8	65723,39	172975,0	17297,50	103777,89	
		ААШВ-(3x70)	0,185	97,7		0,87	140,9	0,69	44	3,90	5077,2	44967,58	204055,0	204055,0	20405,50	89859,68	
		ААШВ-(3x95)					167,0	0,59	50	3,16	4107,5	36378,47	234765,0	234765,0	23476,50	88026,77	
		ААШВ-(3x120)					189,7	0,52	54	2,65	3441,0	30475,98	260110,0	260110,0	26011,00	<b>87700,18</b>	
4	ТП-2	ААШВ-(3x50)						134,0	0,41	44	0,45	579,7	5134,09	56100,0	5610,00	<b>17476,09</b>	
		ААШВ-(3x70)	0,060	55,0		1,00	162,0	0,34	44	0,30	396,6	3512,71	66180,0	66180,0	6618,00	18072,31	
		ААШВ-(3x95)					192,0	0,29	50	0,25	320,9	2841,76	76140,0	76140,0	7614,00	19592,56	
		ААШВ-(3x120)					218,0	0,25	54	0,21	268,8	2380,68	84360,0	84360,0	8436,00	20939,88	
12	ТП-6	ААШВ-(3x50)						116,6	0,70	44	1,19	1544,9	13683,00	51425,0	5142,50	24996,50	
		ААШВ-(3x70)	0,055	81,6		0,87	140,9	0,58	44	0,81	1057,0	9361,83	60665,0	60665,0	6066,50	<b>22708,13</b>	
		ААШВ-(3x95)					167,0	0,49	50	0,66	855,1	7573,66	69795,0	69795,0	6979,50	22928,56	
		ААШВ-(3x120)					189,7	0,43	54	0,55	716,4	6344,82	77330,0	77330,0	7733,00	23357,42	
5	ТП-3	ААШВ-(3x50)						116,6	0,35	44	1,29	1683,0	14905,52	219725,0	21972,50	<b>63245,02</b>	
		ААШВ-(3x70)	0,235	41,3		0,87	140,9	0,29	44	0,89	1151,5	10198,28	259205,0	259205,0	25920,50	67223,38	
		ААШВ-(3x95)					167,0	0,25	50	0,72	931,5	8250,34	298215,0	298215,0	29821,50	73857,64	
		ААШВ-(3x120)					189,7	0,22	54	0,60	780,4	6911,70	330410,0	330410,0	33041,00	79601,90	
13	ТП-7	ААШВ-(3x50)						120,6	0,80	44	2,28	2962,3	26236,58	74800,0	7480,00	42692,58	
		ААШВ-(3x70)	0,080	97,0		0,90	145,8	0,67	44	1,56	2026,8	17950,92	88240,0	88240,0	8824,00	37363,72	
		ААШВ-(3x95)					172,8	0,56	50	1,26	1639,7	14522,18	101520,0	101520,0	10152,00	<b>36856,58</b>	
		ААШВ-(3x120)					196,2	0,49	54	1,06	1373,6	12165,92	112480,0	112480,0	11248,00	36911,52	
3	ТП-1	ААШВ-(3x50)						134,0	0,51	44	2,08	2705,3	23960,09	168300,0	16830,00	60986,09	
		ААШВ-(3x70)	0,180	68,6		1,00	162,0	0,42	44	1,42	1851,0	16393,36	198540,0	198540,0	19854,00	<b>60072,16</b>	
		ААШВ-(3x95)					192,0	0,36	50	1,15	1497,4	13262,12	228420,0	228420,0	22842,00	63514,52	
		ААШВ-(3x120)					218,0	0,31	54	0,96	1254,5	11110,31	253080,0	253080,0	25308,00	66787,91	
14	ТП-7	ААШВ-(3x50)						120,6	0,68	44	1,63	2119,4	18770,91	74800,0	7480,00	35226,91	
		ААШВ-(3x70)	0,080	82,1		0,90	145,8	0,56	44	1,11	1450,1	12842,95	88240,0	88240,0	8824,00	<b>32255,75</b>	
		ААШВ-(3x95)					172,8	0,47	50	0,90	1173,1	10389,86	101520,0	101520,0	10152,00	32724,26	
		ААШВ-(3x120)					196,2	0,42	54	0,76	982,8	8704,08	112480,0	112480,0	11248,00	33449,68	
7, 8	ТП-4	ААШВ-(3x50)						116,6	0,70	44	6,30	8198,7	72613,22	271150,0	27115,00	132266,22	
		ААШВ-(3x70)	0,290	82,0		0,87	140,9	0,58	44	4,31	5609,5	49681,56	319870,0	319870,0	31987,00	<b>120052,96</b>	
		ААШВ-(3x95)					167,0	0,49	50	3,49	4538,0	40192,05	368010,0	368010,0	36801,00	121154,25	
		ААШВ-(3x120)					189,7	0,43	54	2,92	3801,7	33670,80	407740,0	407740,0	40774,00	123373,60	

продовження табл. 7.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
9, 10	ТП-5	ААШв-(3x50)	0,200	41,8	134,0	0,90	120,6	0,35	44	1,05	1372,0	12151,11	187000,0	18700,0	<b>53291,11</b>
		ААШв-(3x70)			162,0		145,8	0,29	44	0,72	938,7	8313,72	220600,0	22060,0	56845,72
		ААШв-(3x95)			192,0		172,8	0,24	50	0,58	759,4	6725,74	253800,0	25380,0	62561,74
		ААШв-(3x120)			218,0		196,2	0,21	54	0,49	636,2	5634,48	281200,0	28120,0	67498,48
15, 16	ТП-8	ААШв-(3x50)	0,260	82,3	134,0	0,90	120,6	0,68	44	5,32	6923,9	61322,87	243100,0	24310,0	114804,87
		ААШв-(3x70)			162,0		145,8	0,56	44	3,64	4737,3	41956,77	286780,0	28678,0	<b>105048,37</b>
		ААШв-(3x95)			192,0		172,8	0,48	50	2,95	3832,4	33942,75	329940,0	32994,0	106529,55
		ААШв-(3x120)			218,0		196,2	0,42	54	2,47	3210,6	28435,46	365560,0	36556,0	108858,66
17, 18	ТП-9	ААШв-(3x50)	0,420	41,5	134,0	0,90	120,6	0,34	44	2,19	2843,8	25186,54	392700,0	39270,0	<b>111580,54</b>
		ААШв-(3x70)			162,0		145,8	0,28	44	1,50	1945,7	17232,49	463260,0	46326,0	119149,69
		ААШв-(3x95)			192,0		172,8	0,24	50	1,21	1574,1	13940,97	532980,0	53298,0	131196,57
		ААШв-(3x120)			218,0		196,2	0,21	54	1,01	1318,7	11679,01	590520,0	59052,0	141593,41
<b>Всього</b>											28217,0	249909,55	2248580,0	224858,0	<b>744597,15</b>

Таблиця 7.3 – Результати вибору КЛ розподільчої мережі заводу на основі мінімуму приведених витрат

Показники	Од. вим.	Варіант	
		За технічними умовами	За мінімумом приведених витрат
Капіталовкладення	тис. грн.	2149,0	2248,6
Поточні витрати	тис. грн.	214,9	224,9
Вартість втрат електроенергії	тис. грн.	283,4	249,9
Збитки від недоданої електроенергії	тис. грн.	3,15	3,15
Приведені витрати	тис. грн.	759,4	747,7

Аналіз табл. 7.3 показує, що при збільшенні первинних капіталовкладень у розподільну мережу 10 кВ лише на 4,6%, вдалося досягти зменшення річних втрат електроенергії на 3786,8 кВт·год/рік або 11,8%. У цілому, від впровадження даного заходу сумарні приведені витрати знижуються на 1,5%.

### 7.3.2. Обґрунтування доцільності вибору енергоефективних трансформаторів цехових ПС

Основними елементами електричних мереж, що визначають загальну величину втрат електроенергії, крім кабельних ліній також є цехові трансформатори.

Головним критерієм ефективності вибору трансформатора, як і будь-якого іншого електроустаткування, є мінімум приведених витрат (7.13).

При розрахунку річної вартості втрат електроенергії  $B$  у трансформаторах враховуються не лише навантажувальні втрати, а також втрати неробочого ходу:

$$B = c_0 \cdot (\Delta E_{Т.НХ} + \Delta E_{Т.Н}), \text{ грн./рік}; \quad (7.14)$$

$\Delta E_{Т.НХ}$  – втрати енергії неробочого ходу:

$$\Delta E_{Т.НХ} = n \cdot \Delta p_{Н.ХХ} \cdot T_B,$$

$T_B$  – час вмикання трансформатора, приймаємо  $T_B = 8760$  год/рік;

$\Delta E_{Т.Н}$  – навантажувальні втрати енергії:

$$\Delta E_{Т.Н} = n \cdot \Delta p_{Н.КЗ} \cdot \tau \cdot k_3^2,$$

$\Delta p_{КЗ}$  – навантажувальні втрати активної потужності в трансформаторі при повному їх завантаженні.

При розробці системи електропостачання заводу вибрано до установки енергозберігаючі трансформатори типу ТМГ (рівень 1) [5, 6]. Виконаємо порівняння річних приведених витрат на встановлення та експлуатацію цих трансформаторів з приведеними витратами на енергозберігаючі трансформатори типу ТМГ (рівень 2) аналогічної номінальної потужності [5, 6].

Трансформатори ТМГ-1000/10-У1 ТМГ (рівень 2) мають знижений рівень втрат неробочого ходу і короткого замикання при цьому у них кращі масогабаритні показники. Вони також мають знижений рівень звукової потужності.

Технічні характеристики трансформаторів ТМГ-1000/10-У1 (рівень 1) і ТМГ-1000/10-У1 (рівень 2) приведено у табл. 7.4.

Таблиця 7.4 – Параметри трансформаторів, що приймалися до розгляду

Трансформатор	Тип	$U_{вн}$ , кВ	$U_{нн}$ , кВ	$u_{к.з}$ , %	$\Delta p_{кз}$ , кВт	$\Delta p_{н.х}$ , кВт	$K$ , тис. грн
Базовий	ТМГ-1000 (р. 1)	10,0	0,4	6,0	10,5	0,77	792432
Енергозберігаючий	ТМГ-1000 (р. 2)	10,0	0,4	5,5	7,6	0,693	1159600

Розглянемо детально розрахунок річних приведених витрат для трансформатора ТП-1:

$$P_{в.тп-1} = 0,12 \cdot K_T + C \cdot K_T + B = 0,12 \cdot 792432 + 0,2 \cdot 792432 + 167512 = 421,09 \text{ грн.}$$

де  $C$  – поточні витрати, складаються з витрат на експлуатацію 0,05 та амортизацію 0,15;

$B$  – вартість втрат електроенергії в трансформаторі, тис. грн.:

$$B = c_0 (\Delta E_{т.нх} + \Delta E_{т.н}) = c_0 \cdot n (\Delta p_{н.х} \cdot T_v + \Delta p_{н.кз} \cdot \tau \cdot k_3^2) =$$

$$= 8,8567 \cdot (0,77 \cdot 8760 + 10,5 \cdot 0,944 \cdot 1300,8) \cdot 10^{-3} = 167,51 \text{ грн./рік;}$$

Розрахунок для приведених витрат для інших цехових трансформаторів обох варіантів проведено у вигляді табл. 7.5.

Таблиця 7.5 – Розрахунок приведених витрат для цехових трансформаторів

№ ТП	Кільк. транс.	C, тис. грн.	$k_3$	$\Delta E_{н.х.}$ , кВт·год	$\Delta E_{нав.}$ , кВт·год	$\Delta E_{\Sigma}$ , кВт·год	B, тис. грн.	$P_{в1}$ , тис. грн.
Базові ТМГ-1000/10/0,4 (рівень 1)								
1	1	158,4864	0,944	6745,20	12168,35	18913,55	167,51	421,09
2	1	158,4864	0,919	6745,20	11539,51	18284,71	161,94	459,58
3	2	158,4864	0,699	13490,40	13346,53	26836,93	237,69	396,17
4	2	158,4864	0,685	13490,40	12816,73	26307,13	232,99	391,48
5	2	158,4864	0,701	13490,40	13426,98	26917,38	238,40	396,89
6	2	158,4864	0,701	13490,40	13435,97	26926,37	238,48	396,97
7	2	158,4864	0,697	13490,40	13279,25	26769,65	237,09	395,58
8	2	158,4864	0,696	13490,40	13218,58	26708,98	236,55	395,04
9	2	158,4864	0,704	13490,40	13547,31	27037,71	239,46	397,95
Всього		1426,38		<b>107923,20</b>	<b>116779,20</b>	<b>224702,40</b>	<b>1990,12</b>	<b>3650,74</b>
Енергозберігаючі ТМГ-1000/10/0,4 (рівень 2)								
1	1	231,92	0,944	6070,68	8807,57	14878,25	131,77	502,84
2	1	231,92	0,919	6070,68	8352,41	14423,09	127,74	359,66
3	2	231,92	0,699	12141,36	9660,34	21801,70	193,09	425,01
4	2	231,92	0,685	12141,36	9276,87	21418,23	189,69	421,61
5	2	231,92	0,701	12141,36	9718,57	21859,93	193,61	425,53
6	2	231,92	0,701	12141,36	9725,08	21866,44	193,66	425,58
7	2	231,92	0,697	12141,36	9611,65	21753,01	192,66	424,58
8	2	231,92	0,696	12141,36	9567,73	21709,09	192,27	424,19
9	2	231,92	0,704	12141,36	9805,67	21947,03	194,38	426,30
Всього		2087,28		<b>97130,88</b>	<b>84525,90</b>	<b>181656,78</b>	<b>1608,88</b>	<b>3835,31</b>

Різниця у річних втратах електроенергії в цехових трансформаторах:

$$\delta E_{\text{тр}} = \Delta E_{\text{Т.р.1}} - \Delta E_{\text{Т.р.2}} = 224702,40 - 181656,78 = 43045,6 \text{ кВт·год};$$

Вартість заощадженої електроенергії за рік у цехових трансформаторах:

$$\delta B_{\text{тр}} = c_0 \cdot \delta E = 8,8567 \cdot 43045,6 = 381,24 \text{ тис. грн.}$$

У цілому по заводу, заміна трансформаторів цехових ПС дозволяє за рік заощаджувати 43045,6 кВт·год електроенергії або 381,24 тис. грн.

Загальну економію по заводу завдяки проведенню запропонованих технічних заходів представлено в табл. 7.6.

Таблиця 7.6 – Річна економія електроенергії та коштів

Захід з економії електроенергії	$\delta E$ , кВт·год	B, тис. грн.
Оптимальний вибір перетинів КЛ розподільної мережі 10 кВ	3786,8	33,4
Установка енергозберігаючих цехових трансформаторів	43045,6	381,24
Всього	46832,4	414,64

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	66

## ВИСНОВКИ

У рамках даної роботи спроектовано електротехнічну систему електроспоживання радіотехнічного заводу.

Для визначення електричних навантажень застосовано метод упорядкованих діаграм. Згідно з проведеними розрахунками, навантаження на шинах 10 кВ центральної розподільчої установки підприємства становить 10,4 МВт активної та 10,6 Мвар реактивної потужності.

Добові графіки електричних навантажень розраховані на базі графіків характерних для підприємств радіотехнічної галузі, при цьому аналіз споживання проводився з поділом року на зимовий і літній сезони та робочі і вихідні дні.

Приєднання заводу до енергосистеми здійснено кабельними лініями 10 кВ.

Були розглянуті наступні можливі конфігурації схеми внутрішнього електропостачання заводу:

1. Спорудження на території заводу ЦРУ 10 кВ із застосуванням радіальної схеми живлення, де КЛ мають глухе приєднання до трансформаторів цехових ПС.

2. Спорудження на території заводу ЦРУ 10 кВ з використанням магістральної схеми живлення цехових ПС. Підключення трансформаторів до кабельних ліній реалізується через запобіжник і вимикач навантаження.

За результатами техніко-економічних розрахунків оптимальним було визнано варіант №2.

Проведений аналіз режимів потужності виявив, що необхідно встановлення конденсаторних установок: УКРМ-10-900УЗ з номінальною напругою 10 кВ і УКРМ-0,4, що мають потужність від 100 до 650 кВАр.

Визначення струмів короткого замикання для мережі 10 кВ здійснювалося в системі відносних базисних одиниць.

Для комплектації ЦРУ напругою 10 кВ підбрано наступне високовольтне електрообладнання: вакуумні вимикачі – ВР1-10-20/630УЗ з ЕМ приводом; трансформатори струму – ТОЛУ-10; вимикачі навантаження – ВНРп-10/400-10зУЗ, а також запобіжники ПКТ-103.

У спеціальному розділі проаналізовано та запропоновано організаційні та технічні заходи з економії електроенергії. Проведено вибір КЛ розподільчої мережі 10 кВ заводу, де економічно доцільні перерізи кабельних ліній виявилися вищими на один-два ступені за перерізи, обрані за технічними умовами. Порівняльний аналіз за мінімумом приведених витрат між трансформаторами серії ТМГ, що мають рівень 1 вимог до екодизайну і енергозберігаючими з рівнем 2 для цехових ПС довів доцільність застосування останніх.

Підсумовуючи, можна зазначити, що виконана кваліфікаційна робота відповідає як технічним, так і економічним критеріям.

										Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата						67

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування / В. Г. Рудницький – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 153 с.
5. Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до екодизайну для малих, середніх та великих силових трансформаторів. Затв.: Постанова Кабінету Міністрів України від 27 лютого 2019 року №152.
6. Іщенко М. Р., Козловський О. А. Підвищення енергетичної ефективності трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ. Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р., Держ. біотехнологічний ун-т. Харків: ДБТУ, 2024. С. 17-18.
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. Енергозбереження в промисловості. Частина 1 / А. В. Праховник, О. М. Суходоля, С. П. Денисюк, В. В. Прокопенко – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 517 с.
12. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України / Праховник А. В., Прокопенко В. В., Беленький А. М. та ін. – Луганськ: Вид-во «Місячне сяйво», 2010.

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

# Д О Д А Т К И

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

**Додаток А. Розрахунок електричних навантажень у мережі 10 кВ**

**Таблиця А.1 - Розрахунок силових електричних навантажень у мережі 10 кВ радіотехнічного заводу**

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кільк. ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	k <sub>v</sub>	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну		n <sub>ε</sub>	k <sub>m</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
<b>8</b>	<b>ТП-1 (1x1000 кВА)</b>														
	сильове	51	0,8 - 41,0	513,6	51	0,62	0,97	0,25	317,4	78,1	25	1,11	353,6	78,1	362,1
	освітлювальне								69,8	33,8			67,0	32,4	
	Всього								387,1	111,9			420,6	110,6	434,8
<b>14</b>	<b>СКБ Ч.1</b>														
	сильове	258	0,1 - 15,0	254,9	150	0,61	0,82	0,70	155,2	108,4	34	1,09	169,7	108,4	201,3
	освітлювальне								156,0	75,5			149,7	72,5	
	Всього								311,2	183,9			319,4	180,9	367,1
<b>15</b>	<b>СКБ Ч.2</b>														
	сильове	91	0,1 - 7,5	85,5	75	0,70	0,81	0,73	60,0	44,1	23	1,09	65,3	44,1	78,7
	освітлювальне								80,8	39,1			77,6	37,6	
	Всього								140,8	83,2			142,8	81,6	164,5
	Всього по ТП-1														
	сильове	400	0,1 - 41,0	854	410	0,62	0,92	0,43	532,6	230,6	42	1,08	572,8	230,6	617,4
	освітлювальне								306,5	148,4			294,2	142,5	
	конденсаторні установки 0,4 кВ													0,0	
	всього												867,0	373,1	943,9
	втрати у трансформаторах												10,1	55,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-1												877,1	801,1	1187,9
<b>3</b>	<b>ТП-2 (1x1000 кВА)</b>														
	Адмінібутовий корпус №1														
	сильове	226	0,1 - 24,0	307,4	240	0,68	0,90	0,49	209,0	102,2	26	1,09	227,4	102,2	249,3
	освітлювальне								129,6	62,8			124,4	60,3	
	Всього								338,6	165,0			351,8	162,5	387,5

продовження табл. А.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>4</b>	<b>Адмінібутовий корпус №2</b>														
	силове	203	0,1 - 7,5	135,5	75	0,70	0,81	0,73	95,1	69,2	36	1,06	101,1	69,2	122,5
	освітлювальне								65,7	31,8			63,0	30,5	
	Всього								160,8	101,0			164,1	99,8	192,1
<b>21</b>	<b>АПП</b>														
	силове	60	0,1 - 7,5	78	75	0,46	0,81	0,72	36,0	26,1	21	1,22	43,8	26,1	51,0
	освітлювальне								101,4	49,1			97,3	47,1	
	Всього								137,4	75,2			141,1	73,2	159,0
<b>22</b>	<b>Будинок культури</b>														
	силове	58	0,1 - 80,0	192,2	800	0,61	0,84	0,65	117,4	76,3	5	1,37	161,5	84,0	182,0
	освітлювальне								14,4	7,0			13,8	6,7	
	Всього								131,8	83,3			175,3	90,7	197,4
	Всього по ТП-2														
	силове	550	0,1 - 80,0	718,1	800	0,64	0,86	0,60	457,6	273,9	18	1,14	519,7	273,9	587,5
	освітлювальне								311,1	150,7			298,6	144,6	
	конденсаторні установки 0,4 кВ всього													0,0	
	втрати у трансформаторах												818,4	418,5	919,2
	Всього на шинах 10 кВ ТП-2												9,6	52,2	
													828,0	470,7	952,4
	<b>ТП-3 (2х1000)</b>														
<b>2.3</b>	<b>Збиральний цех №8</b>														
	силове	57	0,1 - 42,0	552,4	420	0,42	0,62	1,28	232,9	297,2	26	1,21	280,9	297,2	408,9
	освітлювальне								69,4	120,3			73,9	128,0	
	Всього								302,3	417,5			354,7	425,2	553,7
<b>2.4</b>	<b>Лабораторія</b>														
	силове	81	0,1 - 12,0	200,6	120	0,53	0,91	0,46	106,9	49,5	33	1,12	119,9	49,5	129,8
	освітлювальне								16,1	7,8			15,5	7,5	
	Всього								123,0	57,3			135,4	57,0	135,4

продовження табл. А.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2.5	Цех №6 (монтажний)														
	силове	127	1,0 - 130,0	2474,0	130	0,25	0,54	1,55	617,7	958,7	38	1,26	777,1	958,7	1234,1
	освітлювальне								125,0	216,5			133,0	230,3	
	Всього								742,7	1175,2			910,1	1189,1	910,1
	Всього по ТП-3														
	силове	268	0,1 - 130,0	3232,0	1300	0,30	0,59	1,36	957,5	1305,5	50	1,18	1125,4	1305,5	1723,6
	освітлювальне								210,6	344,6			222,4	365,8	
	конденсаторні установки 0,4 кВ													-1300,0	
	Всього												1347,8	371,3	1398,0
	втраги у трансформаторах												11,8	61,6	
	Всього на шинях 10 кВ ТП-3												1359,6	432,9	1426,8
	<b>ТП-4 (2x1000 кВА)</b>														
2.1	Листоштампувальний цех														
	силове	97	1,6 - 130,0	3260,4	81	0,22	0,69	1,06	709,3	749,7	50	1,23	871,7	749,7	1149,8
	освітлювальне								39,4	68,3			41,9	72,7	
	Всього								748,7	818,0			913,7	822,4	1229,3
2.2	Склад														
	силове	14	1,1 - 7,5	39,4	7	0,42	0,78	0,80	16,5	13,3	11	1,40	23,2	13,3	26,7
	освітлювальне								2,0	3,5			1,4	2,3	
	Всього								18,5	16,8			24,5	15,6	29,1
7	Реагентне господарство														
	силове	18	1,2 - 30,0	162,8	25	0,71	0,76	0,86	116,3	99,6	11	1,14	132,7	99,6	165,9
	освітлювальне								3,7	6,5			3,6	6,2	
	Всього								120,1	106,0			136,3	105,7	172,5
20	Насосна станція														
	силове	8	2,8 - 75,0	319,3	27	0,70	0,80	0,75	223,0	168,2	8	1,19	265,3	185,0	323,4
	освітлювальне								3,4	5,9			3,3	5,7	
	Всього								226,4	174,1			268,5	190,6	329,3

продовження табл. А.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Всього по ТП-4														
	силове	140	1,1 - 130,0	3786,9	118	0,28	0,72	0,97	1065,1	1030,7	58	1,16	1237,6	1030,7	1610,6
	освітлювальне								48,6	84,2			50,1	86,8	
	конденсаторні установки 0,4 кВ													-650,0	
	Всього												1287,7	467,5	1369,9
	втрати у трансформаторах												11,4	59,3	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-4												1299,1	526,8	1401,9
	<b>ТП-5 (2x1000 кВА)</b>														
<b>5</b>	<b>Компресорна станція</b>														
	силове	27	3,0 - 250,0	1515,5	83	0,69	0,79	0,76	1053,2	805,1	12	1,14	1205,4	805,1	1449,6
	освітлювальне								3,4	5,9			3,3	5,7	
	Всього								1056,6	811,0			1208,7	810,8	1455,4
	Всього по ТП-5														
	силове	27	3,0 - 250,0	1515,5	83	0,69	0,79	0,76	1053,2	805,1	12	1,14	1205,4	805,1	1449,6
	освітлювальне								3,4	5,9			3,3	5,7	
	конденсаторні установки 0,4 кВ													-100,0	
	Всього												1208,7	710,8	1402,2
	втрати у трансформаторах												11,9	62,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-5												1220,6	772,7	1444,6
	<b>ТП-6 (2x1000 кВА)</b>														
<b>1</b>	<b>Корпус №1</b>														
	силове	277	1,1 - 85,0	2572,0	77	0,32	0,69	1,05	818,2	861,5	61	1,14	931,3	861,5	1268,7
	освітлювальне								193,3	334,8			200,0	346,5	
	Всього								1011,4	1196,3			1131,4	1208,0	1655,1
	<b>Котельна</b>														
	силове	15	3,0 - 40,0	271,0	13	0,68	0,81	0,74	184,2	135,7	14	1,14	209,6	135,7	249,7
	освітлювальне								29,1	50,4			27,7	48,0	
	Всього								213,3	186,1			237,3	183,7	300,1

продовження табл. А.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	<b>Освітлення території</b>								16,7	29,0			18,8	32,5	
	Всього по ТП - 6 (2х1000 кВА)	295	1,1 - 85,0	2848,0	77	0,35	0,71	0,99	1002,3	997,2	67	1,12	1118,2	997,2	1498,2
	силове								239,1	414,2			246,5	427,0	
	освітлювальне														
	конденсаторні установки 0,4 кВ														
	всього												1364,7	324,2	1402,7
	втрати у трансформаторах												11,9	62,0	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-6												1376,5	386,2	1429,7
	<b>ТП-7 (2х1000 кВА)</b>														
9	<b>Механо-штампувальний цех</b>														
	силове	206	1,6 - 130,0	4626,0	81	0,21	0,68	1,08	968,6	1041,3	71	1,17	1136,8	1041,3	1541,7
	освітлювальне								169,6	293,8			180,5	312,6	
	Всього								1138,3	1335,1			1317,3	1353,9	1889,0
	<b>10 Адмінібутова частинаї МПЩ</b>														
	силове	4	2,2 - 7,5	19,4	3	0,65	0,80	0,75	12,6	9,5	4	1,38	17,3	10,4	20,2
	освітлювальне								36,5	17,7			35,0	17,0	
	Всього								49,1	27,1			52,4	27,4	59,1
	Всього по ТП-7														
	силове	210	1,6 - 130,0	4645,4	81	0,21	0,68	1,07	981,2	1050,8	71	1,17	1150,5	1050,8	1558,1
	освітлювальне								206,1	311,5			215,5	329,6	
	конденсаторні установки 0,4 кВ														
	всього												1366,0	280,4	1394,4
	втрати у трансформаторах												11,7	61,3	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-7												1377,7	341,7	1419,5
	<b>ТП-8 (1х1000 кВА)</b>														
16	<b>Гараж</b>														
	силове	36	1,7 - 12,0	425,5	7	0,36	0,49	1,76	151,8	267,5	36	1,19	180,9	267,5	323,0
	освітлювальне								13,4	23,3			12,8	22,2	
	Всього								165,2	290,8			193,7	289,7	348,5

ПРОДОВЖЕННЯ ТАБЛ. А.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>17</b>	<b>Електроцех</b>														
	силове	18	1,5 - 30,0	130,2	20	0,40	0,81	0,73	51,7	37,9	9	1,50	77,6	41,6	88,1
	освітлювальне								9,5	16,5			9,0	15,7	
	Всього								61,2	54,3			86,7	57,3	103,9
<b>18</b>	<b>Фарбувальний цех</b>														
	силове	19	2,2 - 160,0	1173,7	73	0,67	0,92	0,43	787,8	335,2	15	1,14	895,0	335,2	955,7
	освітлювальне								12,7	0,0			10,8	0,0	
	Всього								800,5	335,2			905,7	335,2	965,8
<b>13</b>	<b>Деревообробний цех</b>														
	силове	43	2,2 - 94,5	40,7	44	2,97	0,18	5,37	120,9	649,4	1	2,02	244,7	714,3	755,1
	освітлювальне								102,1	176,8			97,2	168,3	
	Всього								222,9	826,2			341,9	882,7	946,6
	Всього по ТП-8														
	силове	119	1,5 - 160,0	1775,1	107	0,63	0,65	1,16	1112,2	1290,0	22	1,12	1247,6	1290,0	1794,6
	освітлювальне								137,7	216,5			129,8	206,2	
	конденсаторні установки 0,4 кВ													-1300,0	
	всього												1377,4	196,2	1391,3
	втрати у трансформаторах												11,7	61,1	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-8												1389,1	257,2	1412,7
	<b>ТП-9 (1х1000 кВА)</b>														
<b>11</b>	<b>Корпус №4</b>														
	силове	251	0,8 - 75,0	2000,3	94	0,35	0,73	0,95	699,3	662,3	53	1,14	798,5	662,3	1037,5
	освітлювальне								92,0	159,4			97,1	168,2	
	Всього								791,3	821,8			895,6	830,5	1221,4
<b>12</b>	<b>АПЧ корпусу №4</b>														
	силове	21	0,2 - 7,5	37,9	38	0,66	0,80	0,75	25,2	18,9	10	1,19	29,9	20,8	36,4
	освітлювальне								16,8	8,1			16,1	7,8	
	Всього								42,0	27,0			46,0	28,6	54,2

продовження табл. А1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>19</b>	<b>Кузнечне відділення</b>														
	силове	27	5,5 - 70,0	430,7	13	0,48	0,51	1,71	204,6	349,6	12	1,32	269,6	349,6	441,5
	освітлювальне								5,9	10,2			5,6	9,7	
	Всього								210,5	359,8			275,2	359,4	452,6
<b>23</b>	<b>Склад</b>														
	силове	4	1,1 - 2,3	6,8	2	0,10	0,50	1,73	0,7	1,2	4	3,56	2,4	1,3	2,7
	освітлювальне								2,3	4,0			1,5	2,7	
	Всього								3,0	5,2			4,0	4,0	5,6
<b>24</b>	<b>Склад ОКІК</b>														
	силове	13	2,3 - 7,5	66,9	3	0,55	0,70	1,03	36,7	37,9	13	1,24	45,4	37,9	59,1
	освітлювальне								13,5	23,4			9,1	15,7	
	Всього								50,2	61,3			54,4	53,6	76,4
<b>25</b>	<b>Блок складів</b>														
	силове	42	0,6 - 22,0	284,5	37	0,59	0,79	0,77	168,3	128,9	26	1,12	188,7	128,9	228,5
	освітлювальне								9,2	16,0			6,2	10,7	
	Всього								177,5	144,9			194,9	139,6	239,7
	Всього по ТП-9														
	силове	361	0,2 - 75,0	2832,1	375	0,40	0,69	1,06	1134,7	1198,9	76	1,09	1237,4	1198,9	1722,9
	освітлювальне								139,8	221,1			135,6	214,8	
	конденсаторні установки 0,4 кВ													-1100,0	
	всього												1373,1	313,7	1408,5
	втрати у трансформаторах												12,0	62,5	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-9												1385,0	376,2	1435,2
	Всього по заводу														
	силове	2370	0,1 250,0	22207	>3	0,37	0,71	0,99	8296,2	8182,6	178	1,05	8685,2	8182,6	11932,7
	освітлювальне								1602,9	1897,2			1596,1	1923,0	
	конденсаторні установки 0,4 кВ													-6650,0	
	Всього								9899,1	10079,8			10281,3	3455,6	10846,5
	втрати у трансформаторах												102,1	537,0	
	конденсаторні установки 10 кВ													-2400,0	
	<b>Всього по заводу на шинах 10 кВ</b>												10383,4	1592,6	10504,8

## Додаток Б.

### Розрахунок графіків електричних навантажень

Таблиця Б1 – Розрахунок графіків електроспоживання робочої зимової доби

Номер інтервалу	Інтервал $t$ , год	$p_j, \%$	$P_{z,j}$ , кВт	$q_j, \%$	$Q_{z,j}$ , квар	$S_{z,j}$ , кВА
1	0 – 1	19,2	1993,6	19,2	305,8	2016,9
2	1 – 2	19,2	1993,6	19,2	305,8	2016,9
3	2 – 3	19,2	1993,6	19,2	305,8	2016,9
4	3 – 4	20,8	2159,7	20,8	331,3	2185,0
5	4 – 5	22,2	2305,1	20,8	331,3	2328,8
6	5 – 6	25,0	2595,9	25,0	398,2	2626,2
7	6 – 7	31,4	3260,4	32,0	509,6	3300,0
8	7 – 8	57,1	5928,9	60,0	955,6	6005,4
9	8 – 9	100,0	10383,4	100,0	1592,6	10504,8
10	9 – 10	90,0	9345,1	100,0	1592,6	9479,8
11	10 – 11	71,4	7413,7	75,0	1194,5	7509,4
12	11 – 12	57,1	5928,9	60,4	961,9	6006,4
13	12 – 13	46,4	4817,9	50,0	796,3	4883,3
14	13 – 14	42,9	4454,5	45,0	716,7	4511,8
15	14 – 15	40,4	4194,9	45,0	716,7	4255,7
16	15 – 16	38,6	4008,0	40,4	643,4	4059,3
17	16 – 17	53,6	5565,5	52,0	828,2	5626,8
18	17 – 18	62,9	6531,2	65,0	1035,2	6612,7
19	18 – 19	48,6	5046,3	50,0	796,3	5108,8
20	19 – 20	39,6	4111,8	40,0	637,0	4160,9
21	20 – 21	28,6	2969,7	26,0	414,1	2998,4
22	21 – 22	28,6	2969,7	26,0	414,1	2998,4
23	22 – 23	25,0	2595,9	24,0	382,2	2623,8
24	23 – 24	24,0	2492,0	24,0	382,2	2521,2

Таблиця Б.2 – Розрахунок графіків електроспоживання вихідної зимової доби

Номер інтервалу	Інтервал $t$ , год	$p_j, \%$	$P_{z,j}$ , кВт	$q_j, \%$	$Q_{z,j}$ , квар	$S_{z,j}$ , кВА
1	0 – 1	19,2	1993,6	20,0	318,5	2018,9
2	1 – 2	19,2	1993,6	20,0	318,5	2018,9
3	2 – 3	19,2	1993,6	20,0	318,5	2018,9
4	3 – 4	19,2	1993,6	20,0	318,5	2018,9
5	4 – 5	19,2	1993,6	20,0	318,5	2018,9
6	5 – 6	19,2	1993,6	20,0	318,5	2018,9
7	6 – 7	19,2	1993,6	18,0	286,7	2014,1
8	7 – 8	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
9	8 – 9	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
10	9 – 10	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
11	10 – 11	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
12	11 – 12	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
13	12 – 13	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
14	13 – 14	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
15	14 – 15	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
16	15 – 16	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
17	16 – 17	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
18	17 – 18	12,2	1266,8	12,0	191,1	1281,1
19	18 – 19	12,2	1266,8	22,0	350,4	1314,3
20	19 – 20	19,2	1993,6	22,0	350,4	2024,2
21	20 – 21	21,2	2201,3	22,0	350,4	2229,0
22	21 – 22	21,2	2201,3	22,0	350,4	2229,0
23	22 – 23	21,2	2201,3	22,0	350,4	2229,0
24	23 – 24	21,2	2201,3	22,0	350,4	2229,0

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

Таблиця Б.3 – Розрахунок добових графіків активної, реактивної повної потужностей робочої літньої доби

Номер інтервалу	Інтервал $t$ , год	$p_j, \%$	$P_{лj}, \text{кВт}$	$q_j, \%$	$Q_{лj}, \text{квар}$	$S_{лj}, \text{кВА}$
1	0 – 1	9,8	814,1	8,0	101,9	820,4
2	1 – 2	9,8	814,1	8,0	101,9	820,4
3	2 – 3	12,4	1030,0	14,0	178,4	1045,4
4	3 – 4	12,8	1063,3	14,0	178,4	1078,1
5	4 – 5	14,5	1204,5	14,0	178,4	1217,6
6	5 – 6	14,5	1204,5	18,0	229,3	1226,1
7	6 – 7	30,5	2533,5	32,0	407,7	2566,1
8	7 – 8	77,8	6462,6	80,0	1019,3	6542,5
9	8 – 9	100,0	8306,7	95,0	1210,4	8394,4
10	9 – 10	94,4	7841,5	100,0	1274,1	7944,4
11	10 – 11	77,8	6462,6	85,0	1083,0	6552,7
12	11 – 12	40,7	3380,8	40,0	509,6	3419,0
13	12 – 13	50,3	4178,3	50,0	637,0	4226,6
14	13 – 14	44,0	3655,0	45,0	573,3	3699,7
15	14 – 15	47,3	3929,1	50,0	637,0	3980,4
16	15 – 16	38,0	3156,6	40,0	509,6	3197,4
17	16 – 17	29,0	2408,9	35,0	445,9	2449,9
18	17 – 18	47,3	3929,1	50,0	637,0	3980,4
19	18 – 19	54,0	4485,6	50,0	637,0	4530,6
20	19 – 20	44,0	3655,0	45,0	573,3	3699,7
21	20 – 21	58,2	4834,5	60,0	764,4	4894,6
22	21 – 22	26,2	2176,4	30,0	382,2	2209,7
23	22 – 23	14,0	1162,9	15,0	191,1	1178,5
24	23 – 24	12,0	996,8	15,0	191,1	1015,0

Таблиця Б.4 – Розрахунок добових графіків активної, реактивної і повної потужностей вихідної літньої доби

Номер інтервалу	Інтервал $t$ , год	$p_j, \%$	$P_{лj}, \text{кВт}$	$q_j, \%$	$Q_{лj}, \text{квар}$	$S_{лj}, \text{кВА}$
1	0 – 1	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
2	1 – 2	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
3	2 – 3	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
4	3 – 4	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
5	4 – 5	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
6	5 – 6	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
7	6 – 7	5,4	448,6	10,0	127,4	466,3
8	7 – 8	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
9	8 – 9	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
10	9 – 10	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
11	10 – 11	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
12	11 – 12	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
13	12 – 13	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
14	13 – 14	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
15	14 – 15	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
16	15 – 16	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
17	16 – 17	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
18	17 – 18	5,4	448,6	5,0	63,7	453,1
19	18 – 19	5,4	448,6	8,0	101,9	460,0
20	19 – 20	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
21	20 – 21	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
22	21 – 22	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
23	22 – 23	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0
24	23 – 24	9,8	814,1	10,0	127,4	824,0

Таблиця Б.5 – Розрахунок річних графіків за активної, реактивної та повної потужностей

№ п/п	Тривалість ступеня, год	Потужність $P$ , кВт	Тривалість ступеня, год	Потужність $Q$ , квар	Тривалість ступеня, год	Потужність $S$ , кВ·А
1	2	3	4	5	6	7
1	147	10383,4	147	1592,6	147	10504,8
2	147	9345,1	147	1592,6	147	9479,8
3	105	8306,7	147	1194,5	105	8394,4
4	105	7841,5	147	1035,2	105	7944,4
5	147	7413,7	147	961,9	147	7509,4
6	147	6531,2	147	955,6	147	6612,7
7	105	6462,6	147	828,2	105	6552,7
8	105	6462,6	147	796,3	105	6542,5
9	147	5928,9	147	796,3	147	6006,4
10	147	5928,9	147	716,7	147	6005,4
11	147	5565,5	147	716,7	147	5626,8
12	147	5046,3	147	643,4	147	5108,8
13	105	4834,5	147	637,0	105	4894,6
14	147	4817,9	147	509,6	147	4883,3
15	105	4485,6	147	414,1	105	4530,6
16	147	4454,5	147	414,1	147	4511,8
17	147	4194,9	147	398,2	147	4255,7
18	105	4178,3	147	382,2	105	4226,6
19	147	4111,8	147	382,2	147	4160,9
20	147	4008,0	65	350,4	147	4059,3
21	105	3929,1	65	350,4	105	3980,4
22	105	3929,1	65	350,4	105	3980,4
23	105	3655,0	65	350,4	105	3699,7
24	105	3655,0	65	350,4	105	3699,7
25	105	3380,8	65	350,4	105	3419,0
26	147	3260,4	147	331,3	147	3300,0
27	105	3156,6	147	331,3	105	3197,4
28	147	2969,7	65	318,5	147	2998,4
29	147	2969,7	65	318,5	147	2998,4
30	147	2595,9	65	318,5	147	2626,2
31	147	2595,9	65	318,5	147	2623,8
32	105	2533,5	65	318,5	105	2566,1
33	147	2492,0	65	318,5	147	2521,2
34	105	2408,9	147	305,8	105	2449,9
35	147	2305,1	147	305,8	147	2328,8
36	65	2201,3	147	305,8	65	2229,0
37	65	2201,3	65	286,7	65	2229,0
38	65	2201,3	65	191,1	65	2229,0
39	65	2201,3	65	191,1	65	2229,0
40	105	2176,4	65	191,1	105	2209,7
41	147	2159,7	65	191,1	147	2185,0
42	65	1993,6	65	191,1	65	2024,2
43	147	1993,6	65	191,1	65	2018,9
44	147	1993,6	65	191,1	65	2018,9
45	65	1993,6	65	191,1	65	2018,9
46	65	1993,6	65	191,1	65	2018,9

## Продовження табл. Б.5.

1	2	3	4	5	6	7
47	65	1993,6	65	191,1	65	2018,9
48	65	1993,6	65	191,1	65	2018,9
49	65	1993,6	105	127,4	147	2016,9
50	65	1993,6	105	127,4	147	2016,9
51	147	1993,6	105	127,4	147	2016,9
52	65	1993,6	48	127,4	65	2014,1
53	65	1266,8	48	127,4	65	1314,3
54	65	1266,8	48	127,4	65	1281,1
55	65	1266,8	48	127,4	65	1281,1
56	65	1266,8	48	127,4	65	1281,1
57	65	1266,8	48	127,4	65	1281,1
58	65	1266,8	105	127,4	65	1281,1
59	65	1266,8	48	127,4	65	1281,1
60	65	1266,8	105	127,4	65	1281,1
61	65	1266,8	48	127,4	65	1281,1
62	65	1266,8	48	127,4	65	1281,1
63	65	1266,8	48	127,4	65	1281,1
64	65	1266,8	105	127,4	65	1281,1
65	105	1204,5	105	127,4	105	1226,1
66	105	1204,5	48	127,4	105	1217,6
67	105	1162,9	48	127,4	105	1178,5
68	105	1063,3	105	127,4	105	1078,1
69	105	1030,0	105	127,4	105	1045,4
70	105	996,8	105	127,4	105	1015,0
71	48	814,1	105	127,4	48	824,0
72	48	814,1	105	127,4	48	824,0
73	48	814,1	48	101,9	48	824,0
74	48	814,1	105	101,9	48	824,0
75	48	814,1	105	63,7	48	824,0
76	48	814,1	105	63,7	48	824,0
77	48	814,1	48	63,7	48	824,0
78	48	814,1	105	63,7	48	824,0
79	48	814,1	105	63,7	48	824,0
80	105	814,1	48	63,7	48	824,0
81	48	814,1	48	63,7	48	824,0
82	48	814,1	48	63,7	105	820,4
83	105	814,1	48	63,7	105	820,4
84	48	448,6	105	63,7	48	466,3
85	48	448,6	105	63,7	48	460,0
86	48	448,6	105	63,7	48	453,1
87	48	448,6	48	63,7	48	453,1
88	48	448,6	48	63,7	48	453,1
89	48	448,6	105	63,7	48	453,1
90	48	448,6	48	63,7	48	453,1
91	48	448,6	48	63,7	48	453,1
92	48	448,6	105	63,7	48	453,1
93	48	448,6	48	63,7	48	453,1
94	48	448,6	48	63,7	48	453,1
95	48	448,6	105	63,7	48	453,1
96	48	448,6	105	63,7	48	453,1
Всього	8760		8760		8760	

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

**Додаток В.**  
**Розрахунок картограми електричних навантажень**

Таблиця В.1 – Розрахунок картограми навантажень радіотехнічного заводу

№ п/п	Назва цеху / підрозділу	Розрахункові навантаження, кВт			Радіус кола, мм	Координати центру кола, м		Кут $\alpha^\circ$	Добутки	
		$P_{р.і}$	$P_{р.ос.і}$	$P_{р.і.Σ}$		$x_i$	$y_i$		$x_i \cdot P_{р.і.Σ}$ кВт·м	$y_i \cdot P_{р.і.Σ}$ квар·м
1	Корпус №1	927,5	200,0	1127,5	18,9	249,5	366,7	63,9	281309,6	413451,9
2	Корпус №2	1865,5	265,7	2131,1	26,1	332,4	335,4	44,9	708381,5	714774,8
3	АПК №1	227,4	124,4	351,8	10,6	321,5	470,8	127,3	113095,7	165615,8
4	Адміністративно побутовий корпус №2	101,1	63,0	164,1	7,2	248,8	473,6	138,3	40838,4	77737,4
5	Компресорна станція	1205,4	3,3	1208,7	19,6	387,4	362,8	1,0	468248,3	438514,4
6	Котельня	209,6	27,7	237,3	8,7	214,9	256,9	42,1	50999,9	60967,3
7	Реагентне господарство	132,7	3,6	136,3	6,6	290,8	253,8	9,4	39630,7	34588,3
8	Їдальня №1	353,6	67,0	420,6	11,6	141,9	417,9	57,3	59676,1	175748,1
9	Механо-штампувальний цех	1136,8	180,5	1317,3	20,5	134,1	354,7	49,3	176651,8	467251,2
10	АПЧ МШЦ	17,3	35,0	52,4	4,1	134,1	422,8	240,8	7021,6	22138,3
11	Корпус №4	798,5	97,1	895,6	16,9	353,8	145,9	39,0	316875,8	130673,2
12	АПЧ корпусу №4	29,9	16,1	46,0	3,8	353,8	199,5	126,1	16283,9	9182,1
13	Деревообробний цех	244,7	97,2	341,9	10,4	266,8	152,2	102,3	91216,9	52036,0
14	Спеціальне конструктор. бюро Ч.1	169,7	149,7	319,4	10,1	80,6	473,2	168,8	25742,8	151134,9
15	Спеціальне конструктор. бюро Ч.1	65,3	77,6	142,8	6,7	35,6	458,2	195,5	5084,3	65439,5
16	Гараж	180,9	12,8	193,7	7,9	133,1	231	23,8	25786,0	44752,6
17	Електроцех	77,6	9,0	86,7	5,3	146,4	202,9	37,6	12689,0	17586,0
18	Фарбувальний цех	895,0	10,8	905,7	17,0	155,7	182,8	4,3	141020,9	165566,0
19	Кузнечне відділення	269,6	5,6	275,2	9,4	384,8	238	7,3	105891,5	65494,2
20	Насосна станція	265,3	3,3	268,5	9,2	400,1	255,2	4,4	107440,5	68529,9
21	Адміністративно побутова частина	43,8	97,3	141,1	6,7	332,7	429	248,3	46958,3	60550,4
22	Будинок культури	161,5	13,8	175,3	7,5	373,3	427,2	28,4	65434,3	74882,2
23	Склад	2,4	1,5	4,0	1,1	332,4	64,1	140,4	1319,6	254,5
24	Склад ОКІК	45,4	9,1	54,4	4,2	399,6	58,1	60,0	21748,9	3162,2
25	Блок складів	188,7	6,2	194,9	7,9	505,8	47,5	11,4	98562,6	9256,1
	<b>Всього</b>			11192,3					3027908,9	3489287,2

## Додаток Г. Розрахунок електричних навантажень магістральних ліній 10 кВ

Таблиця Г.1 - Розрахунок силових електричних навантажень

№ 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>с</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
	<b>Кабельна лінія 11</b>														
	ТП-6 (Т-1)														
	силова	148	1,1	85,0	77	0,35	0,71	1,00	498,6	497,0	67	1,12	556,4	497,0	746,0
	освітлювальна								119,6	207,1			123,3	213,5	
	батареї конденсаторів													-550,0	
	ТП-3 (Т-1)														
	силова	134	0,1	130,0	1300	0,30	0,59	1,37	478,7	657,2	50	1,18	562,7	657,2	865,2
	освітлювальна								105,3	172,3			111,2	182,9	
	батареї конденсаторів													-650,0	
	ТП-2 (Т-1)														
	силова	550	0,1	80,0	800	0,64	0,86	0,60	457,6	274,3	18	1,14	519,7	274,3	587,7
	освітлювальна								311,1	150,7			298,6	144,6	
	батареї конденсаторів													0,0	
	Всього														
	силова	832	0,1	130,0	>3	0,38	0,71	1,00	1434,9	1428,5	58	1,12	1606,7	1428,5	2149,9
	освітлювальна								535,9	530,1			533,1	541,0	
	батареї конденсаторів													-1200,0	
	Всього по ТП-2, 3, 6 (3x1000)								1970,8	1958,5			2139,8	769,5	2273,9
	втраги в трансформаторах												21,4	105,3	
	Всього по КЛ -11												2161,2	874,8	2331,5
	Кабельна лінія 6														
	ТП-3														
	силова	134	0,1	130,0	1300	0,30	0,59	1,37	478,7	657,2	50	1,18	562,7	657,2	865,2
	освітлювальна								105,3	172,3			111,2	182,9	
	батареї конденсаторів													-600,0	

Зм.

Арк.

№ докум.

Підпис.

Дата

Арк.

82

Продовження табл. Г.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-2														
	силова	550	0,1 - 80,0	718,1	800	0,64	0,86	0,60	457,6	274,3	18	1,14	519,7	274,3	587,7
	освітлювальна								311,1	150,7			298,6	144,6	
	батареї конденсаторів													0,0	
	Всього														
	силова	684	0,1 - 130,0	2334,1	>3	0,40	0,71	0,99	936,3	931,5	36	1,17	1093,9	931,5	1436,7
	освітлювальна								416,3	322,9			409,8	327,5	
	батареї конденсаторів													-600,0	
	Всього по ТП-2, 3 (2x1000)								1352,6	1254,4			1503,7	659,0	1641,7
	втрати в трансформаторах												16,4	81,1	
	Всього по КЛ6												1520,0	740,1	1690,6
	<b>Кабельна лінія 12</b>														
	ТП-6 (Т-2)														
	силова	295	1,1 - 85,0	1420	77	0,35	0,71	1,00	498,6	497,0	67	1,12	556,4	497,0	746,0
	освітлювальна								119,6	207,1			123	213	
	батареї конденсаторів													-550	
	Всього														
	ТП-3 (Т-2)														
	силова	268	0,1 - 130,0	1616,0	1300	0,30	0,59	1,37	478,7	657,2	50	1,18	562,7	657,2	865,2
	освітлювальна								105,3	172,3			111,2	182,9	
	батареї конденсаторів													-650,0	
	Всього														
	силова	563	1,1 - 85,0	3036,1	>3	0,32	0,65	1,18	977,3	1154,2	71	1,12	1094,6	1154,2	1590,7
	освітлювальна								224,9	379,4			234,4	396,4	
	батареї конденсаторів													-1200,0	
	Всього по ТП-3, 6(2x1000)								1202,2	1533,6			1329,1	350,6	1374,5
	втрати в трансформаторах												15,6	82,0	
	Всього по КЛ-12												1344,6	432,6	1412,5

Продовження табл. Г.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
	<b>Кабельна лінія 13</b>																
	ТП-7 (Т-1)																
	силова	105	1,6	-	130,0	2322,7	81	0,21	0,68	1,07	490,6	525,4	71	1,17	575,2	525,4	779,1
	освітлювальна										112,4	189,7			117,2	198,2	
	батареї конденсаторів															-600,0	
	ТП-1 (Т-1)																
	силова	400	0,1	-	41,0	854,0	410	0,62	0,92	0,43	532,6	230,6	42	1,08	573	231	617
	освітлювальна										306,5	148,4			294	143	
	батареї конденсаторів															0	
	Всього																
	силова	505	0,1	-	130,0	3176,7	>3	0,32	0,80	0,74	1023,2	756,0	49	1,16	1148,0	756,0	1374,6
	освітлювальна										418,9	338,1			411,5	340,7	
	батареї конденсаторів															-600,0	
	Всього по ТП-7, ТП-1 (2x1000)										1442,1	1094,1			1559,5	496,7	1636,6
	втрати в трансформаторах														16,3	80,7	
	Всього по КЛІЗ														1575,7	577,3	1678,2
	<b>Кабельні лінії 7, 8</b>																
	ТП-4 (2x1000)																
	силова	140	1,1	-	130,0	3786,9	118	0,28	0,72	0,97	1065,1	1034,6	58	1,16	1237,57	1034,61	1613,07
	освітлювальна										48,6	84,2			50,1315	86,8304	
	батареї конденсаторів															-650	
	ТП-5 (2x1000)																
	силова	27	3,0	-	250,0	1515,5	83	0,69	0,79	0,76	1053,2	805,1	12	1	1205,4	805,1	1449,6
	освітлювальна										3,4	5,9			3,3	5,7	
	батареї конденсаторів															-100	

Продовження табл. Г.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Всього															
силова	167	1,1	250,0	5302,4	>3	0,40	0,76	0,87	2118,3	1839,7	42	1,15	2443,0	1839,7	3058,2
освітлювальна									52,0	90,1			53,4	92,5	
батареї конденсаторів														-750,0	
Всього по ТП-4, 5 (4x1000)									2170,3	1929,8			2496,4	1182,2	2762,2
втрати в трансформаторах													24,4	118,9	
Всього по КЛ7, 8													2520,8	1301,1	2836,8
<b>Кабельні лінії 15, 16</b>															
ТП-8 (2x1000)															
силова	119	2	- 160	1775	107	1	1	1	1112	1290	22	1	1248	1290	1795
освітлювальна									138	217			130	206	
батареї конденсаторів														-1300	
ТП-9 (2x1000)															
силова	361	0,2	- 75	2832,1	375	0,401	0,687	1,06	1134,66	1199,765	76	1,09	1237,45	1199,76	1723,58
освітлювальна									139,75	221,0923			135,633	214,8	
батареї конденсаторів														-1100	
Всього															
силова	480	0,2	- 160,0	4607	>3	0,49	0,67	1,11	2247	2490	58	1,09	2485,0	2489,8	3517,7
освітлювальна									277	438			265,4	421,0	
батареї конденсаторів														-2400,0	
Всього по ТП-8, 9 (4x1000)									2524,3	2927,4			2750,4	510,7	2797,5
втрати в трансформаторах													24,9	121,6	
Всього по КЛ15, 16													2775,4	632,3	2846,5