

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
“ ____ ” _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

ВИЩОЇ ОСВІТИ

на тему:

«Розроблення системи електропостачання тепловозного депо»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕЕ-20,
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Віктор ОНУФРІЄНКО
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
доцент, канд. техн. наук
_____ Олександр КОЗЛОВСЬКИЙ
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент

« ____ » _____ 2024 р.

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ЕТС та ЕМ

Петро Плешков

« » 2024 р.

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

Онуфрієнка Віктора Григоровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) «Розроблення системи електропостачання тепловозного депо.
Development of a power supply system for a diesel locomotive depot»

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 31.05.2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи Метою роботи є розроблення
системи електропостачання тепловозного депо згідно сучасних вимог надійності
та економічності.

1. Вступ. 2. Розрахунок електричних навантажень. 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. Загальні 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
<i>1</i>	<i>Вступ</i>	<i>15.04.24</i>	
<i>2</i>	<i>Розрахунок електричних навантажень</i>	<i>16.04.24</i>	
<i>3</i>	<i>Картограма електричних навантажень</i>	<i>22.04.24</i>	
<i>4</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем ел. пост.</i>	<i>24.04.24</i>	
<i>5</i>	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>29.04.24</i>	
<i>6</i>	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>3.05.24</i>	
<i>7</i>	<i>Розрахунок струмів КЗ і вибір обладнання</i>	<i>6.05.24</i>	
<i>8</i>	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>10.05.24</i>	
<i>9</i>	<i>Загальні висновки</i>	<i>17.05.24</i>	
<i>10</i>	<i>Складання переліку бібліографічних посилань</i>	<i>19.05.24</i>	
<i>11</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки роботи</i>	<i>22.05.24</i>	
<i>12</i>	<i>Оформлення слайдів (графічна частина роботи)</i>	<i>25.05.24</i>	

Дата видачі завдання

“ ____ ” _____ 2024 року

Підпис керівника

_____ Олександр КОЗЛОВСЬКИЙ

Задання прийнято до виконання

“ ____ ” _____ 2024 року

Підпис студента

_____ Віктор ОНУФРІЄНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: загальний обсяг 76 с. 13 рис.; 30 табл.; 10 джерел;
4-ри додатки на 11 с.

Онуфрієнко В. Г. Розроблення системи електропостачання тепловозного депо. – Рукопис.

Бакалаврська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

У кваліфікаційній роботі виконане комплексне проектування системи електропостачання локомотивного депо з урахуванням сучасних вимог економічності та надійності. Для цього виконано розрахунки, зокрема: розрахунок електричних навантажень, техніко-економічне обґрунтування схеми внутрішнього електропостачання депо, розрахунок компенсації реактивної потужності та струмів короткого замикання. На основі отриманих даних підібрано електроапарати та кабельні лінії 10 кВ, а також обґрунтовано виконання та розміщення цехових трансформаторних підстанцій.

Спеціальний розділ роботи присвячено розробці системи автоматизованого обліку споживання електроенергії. Було обґрунтовано структуру побудови інформаційно-вимірювальної системи. Як первинні вимірювальні перетворювачі обрано трансформатори струму марки ТЛК-10 та трансформатори напруги марки НАМИ-10-66УЗ. Для комерційного обліку електроенергії вибрано лічильники серії «Альфа», а для технічного обліку – лічильники серії НІК 2303.

Ключові слова: електричні навантаження, компенсація реактивної потужності, конденсаторна установка, високовольтний електроапарат, кабельна лінія, система обліку електроенергії

ABSTRACT

Qualification work: 76 p.; 13 Fig.; 30 tables; 10 sourc.; 4 add. on 11 p.

Onufriienko V. H. Development of a power supply system for a diesel locomotive depot. – 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, 2023.

In the qualification work, a complex design of the power supply system of the locomotive depot was performed, taking into account modern requirements of economy and reliability. For this, calculations were made, in particular: calculation of electrical loads, technical and economic justification of the internal power supply scheme of the depot, calculation of reactive power compensation and short-circuit currents. Based on the obtained data, electrical apparatus and 10 kV cable lines were selected, as well as the design and placement of plant transformer substations were justified.

A special section of the work is devoted to the development of an automated metering system for electricity consumption. The structure of the construction of the information and measurement system was substantiated. Current transformers of the TLK-10 brand and voltage transformers of the NAMI-10-66U3 brand were selected as primary measuring transducers. Alpha series meters were selected for commercial electricity metering, and NIK 2303 meters for technical metering.

Key words: electrical loads, reactive power compensation, capacitor unit, high-voltage electrical apparatus, cable line, electricity accounting system

ЗМІСТ

	стр.
ВСТУП	8
1. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	9
1.1. Розрахунок силових навантажень у мережах до 1000 В.....	9
1.2. Розрахунок освітлювальних навантажень.....	12
1.3. Розрахунок електричних навантажень у мережах вище 1000 В.....	14
1.4. Побудова графіків електричних навантажень депо.....	21
2. КАРТОГРАМА ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	21
3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ..	25
3.1. Схема приєднання та вибір напруги живлення.....	25
3.2. Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання.....	26
4. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	34
4.1. Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір конденсаторних установок	34
4.2. Визначення кількості, потужності й місця встановлення конденсаторних установок.....	36
5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ.....	39
5.1. Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансфор- маторних підстанцій.....	39

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата					
Розроб.	Онуфрієнко В.Г.				Розроблення системи електропостачання тепловозного депо. Development of a power supply system for a diesel locomotive depot	Літера	Аркуш	Аркушів	
Перевір.	Козловський О.А.					Д	6	76	
						ЦНТУ, гр. ЕЕ-20			
Н.контр.									
Затв.	Плешков П.Г.								

5.2. Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій.....	40
--	----

6. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР

ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ....	41
---	-----------

6.1. Розрахунок струмів КЗ.....	41
---------------------------------	----

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж.....	46
---	----

6.3. Вибір електрообладнання.....	48
-----------------------------------	----

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ..... 53

7.1. Цілі та задачі контролю та обліку енергоспоживання.....	53
--	----

7.2. Вибір комплексної системи обліку та контролю електроспоживання.	54
--	----

7.3. Вибір електричних схем підключення пристроїв збору і передачі даних та лічильників.....	58
--	----

7.4. Вибір вимірювальних трансформаторів.....	60
---	----

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 64

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 65

ДОДАТКИ..... 66

Додаток А. Розрахунок графіків електричних навантажень.....	67
---	----

Додаток Б. Розрахунок картограми навантажень.....	72
---	----

Додаток В. Розрахунок електричних навантажень магістральних ліній.....	73
--	----

Додаток Г. Вибір трансформаторів цехових ПС.....	75
--	----

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

ВСТУП

Головними споживачами електричної енергії тепловозного депо є електроприводи металообробних верстатів, випробувальних стендів, вентиляторів, насосів і компресорів. Система електропостачання для такого значного споживання електроенергії повинна мати високі техніко-економічні показники та базуватися на використанні сучасного конкурентоспроможного обладнання, надійних комутаційних апаратів і сучасних схем живлення.

Основні підрозділи тепловозного депо розміщені в одноповерховому головному виробничому корпусі та окремих будівлях. Для забезпечення технологічного обладнання стисненим повітрям призначений допоміжний підрозділ – компресорна станція.

Технологічний процес тепловозного депо відбувається наступним чином. Тепловози потрапляють у цех періодичного огляду, де проводиться перевірка стану екіпажної частини, крокових електродвигунів, гальмівного обладнання, пристроїв автоматичної тепловозного сигналізації, приладів радіозв'язку та електричних машин. У разі потреби в невеликому ремонті (до 1 години) несправні деталі відправляються до механічного або електротехнічного цеху для ремонту.

У цеху великого періодичного ремонту тепловозів проводиться їх огляд і, за необхідності, крупноблокове розбирання. Окремі блоки надходять у спеціалізовані ремонтні цехи та підрозділи депо. Ремонт поршневої групи виконується в дизель-агрегатному цеху; підшипників колінчастого валу, повітродувки та турбокомпресора – у механічному цеху. Обточування та відновлення колісних пар здійснюється в колісно-роликовому цеху. Заготівельний, кузнечно-пресовий і гальванічний цехи призначені для виробництва дрібних партій деталей, які використовуються при технічному огляді та ремонті тепловозів.

Після проведення ремонту тепловози проходять повні реостатні випробування в спеціальному цеху для випробувань.

Депо працює в три зміни. За безперебійністю електропостачання 87% електроприймачів відносяться до 2-ї категорії, а решта – до 3-ї [1].

Живлення депо може здійснюватися від ПС енергосистеми через кабельні лінії напругою 10 кВ і довжиною 3,3 км.

Значення надперехідного струму КЗ в максимальному режимі роботи енергосистеми на шинах РП 35 кВ ПС ЕПК становить 4,149 кА.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розв'язання питань комплексного розроблення системи електропостачання тепловозного депо.

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

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1.1 Розрахунок силових навантажень у мережах до 1000 В

Електричні навантаження в мережах споживачів із напругою 0,4 кВ виконано за методом впорядкованих діаграм [2, 3]. Нижче приведено детальний розрахунок електричних навантажень споживачів цеху великого періодичного ремонту тепловозів (ВПРТ).

Розрахунковий максимум електричного навантаження на вводі 0,4 кВ у цех ВПРТ:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{328,4^2 + 295,6^2} = 441,8 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

де P_p – активна складова розрахункового максимуму навантаження:

$$P_p = k_m \cdot P_{\text{сзм}} = 1,35 \cdot 243,5 = 328,4 \text{ кВт},$$

де k_m – коефіцієнт максимуму за активною потужністю:

$$k_m = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot k_B^2 - 12,7 \cdot k_B + 8,235}{(k_B + 0,05) \cdot n_e^{(1,04-0,4k_B)}}} = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot 0,33^2 - 12,7 \cdot 0,33 + 8,235}{(0,33 + 0,05) \cdot 19^{(1,04-0,4 \cdot 0,33)}}} = 1,35,$$

k_B – груповий коефіцієнт використання за активною потужністю

$$k_B = \frac{P_{\text{ср.зм}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}_i}} = \frac{243,5}{735,6} = 0,33,$$

$P_{\text{ср.зм}}$ – групове середнє активне навантаження цеху ВПРТ за найбільш завантажену зміну

$$P_{\text{ср.зм}} = \sum_i^n P_{\text{ср.зм}_i} = 43,7 + 17,6 + 61,2 + 0,6 + 59,4 + 9,0 + 52,0 = 243,5 \text{ кВт},$$

$P_{\text{ср.зм}.i}$ – середнє активне навантаження i -ї групи електроприймачів з однаковим режимом роботи за найбільш завантажену зміну, кВт;

$P_{\text{ном}.i}$ – значення встановленої активної потужності i -ї групи електроприймачів з однаковим режимом роботи цеху ВПРТ, кВт;

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

$n_{\text{эф}}$ – ефективне число електроприймачів цеху ВПРТ:

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i}}{P_{\text{ном.макс}}} = \frac{2 \cdot 735,6}{76,5} = 19,2 \approx 19$$

за умови, що відношення потужностей $P_{\text{ном.макс}}/P_{\text{ном.мін}}$ становить більше 3:

$$m = \frac{P_{\text{ном.макс}}}{P_{\text{ном.мін}}} = \frac{45}{1,1} = 41 > 3,$$

за групового коефіцієнта використання $k_b \geq 0,2$.

$P_{\text{ном.макс}}$, $P_{\text{ном.мін}}$ – активна номінальна потужність, відповідно, найбільш і найменш потужного електроприймачів цеху ВПРТ, кВт.

Реактивна складова розрахункового максимуму навантаження цеху ВПРТ з урахуванням, того що $n_{\text{эф}} = 19 > 10$ шт.:

$$Q_p = Q_{\text{ср.зм}} = 295,6 \text{ квар},$$

де $Q_{\text{ср.зм}}$ – середнє реактивне навантаження цеху ВПРТ за найбільш завантажену зміну:

$$Q_{\text{ср.зм}} = \sum_i^n Q_{\text{ср.зм.}i} = 51,1 + 30,5 + 106,0 + 1,1 + 52,4 + 15,6 + 39,0 = 295,6 \text{ квар}.$$

$Q_{\text{ср.зм.}i}$ – середнє реактивне навантаження i -ї групи електроприймачів з однаковим режимом роботи за найбільш завантажену зміну, квар.

Розрахункове навантаження електроприймачів, що працюють у повторно-короткочасному режимі роботи (тельфери, кран-балки) з тривалістю вмикання $TB = 25\%$ і $TB = 40\%$ було визначене за виразом

$$P'_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{TB, \%}{100}},$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна активна потужність електроприймача, що вказана в його паспортній таблиці кВт;

TB – тривалість вмикання електроприймача, %.

Для інших цехів і підрозділів локомотивного депо розрахунок потужності силових електричних навантажень у мережах до 1000 В виконується аналогічно до наведеного прикладу, тому результати представлені у табл. 1.1.

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

Зм.			Таблиця 1.1 - Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 0,4 кВ локомотивного депо												
Арк.															
№ докум.															
Підпис.															
Дата															

1.2 Розрахунок освітлювальних навантажень

Обчислення освітлювальних навантажень для кожного з цехів і підрозділів локомотивного депо здійснюється за допомогою методу питомої потужності [3]. Суть цього методу ґрунтується на тому, що для різних типів виробничих приміщень існують нормовані значення питомої потужності освітлення, тобто кількості електроенергії, що витрачається на освітлення 1 м² корисної площі.

Розглянемо детально розрахунок освітлювального навантаження одного виробничого підрозділу локомотивного депо – цеху великого періодичного ремонту тепловозів.

Розрахункове освітлювальне навантаження цеху ВПРТ складе:

$$S_{p.oc} = \sqrt{P_{p.oc}^2 + Q_{p.oc}^2} = \sqrt{81,7^2 + 141,5^2} = 163,4 \text{ кВ}\cdot\text{А}$$

де $P_{p.oc}$ – активна складова розрахункового освітлювального навантаження:

$$P_{p.oc} = k_1 \cdot k_{\pi} \cdot P_{в} = 1,12 \cdot 0,95 \cdot 76,8 = 81,7 \text{ кВт}$$

де k_1 – коефіцієнт, який враховує втрати потужності, що виникають в пускорегулювальних апаратах (ПРА), для дугових ртутних ламп (ДРЛ) приймаємо $k_1 = 1,12$ [3, 4].

k_{π} – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження, приймаємо для приміщення цеху ВПРТ рівним 0,95;

$P_{вст}$ – встановлена потужність освітлювальної установки:

$$P_{вст} = p_0 \cdot F \cdot 10^{-3} = 16 \cdot 4800 \cdot 10^{-3} = 76,8 \text{ кВт},$$

де p_0 – питома потужність освітлення [3, 4], кВт/м²;

F – площа приміщення цеху ВПРТ, що буде освітлюватися м²:

$$F = n \cdot a \cdot b = 1 \cdot 120 \cdot 40 = 4800 \text{ м}^2;$$

n – кількість поверхів цеху, шт.;

a, b – розміри сторін цеху, м;

$Q_{p.oc}$ – реактивна складова розрахункового освітлювального навантаження

$$Q_{p.oc} = P_{p.oc} \cdot \text{tg}\varphi = 81,7 \cdot 1,731 = 141,4 \text{ квар},$$

де $\text{tg}\varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності для ламп ДРЛ становить 1,731.

Розрахунок освітлювальних навантажень для інших цехів і підрозділів локомотивного депо проведено у вигляді табл. 1.2.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		12

№ п/ п	Назва	<i>n</i> , шт	<i>a</i> , м	<i>b</i> , м	<i>F</i> , м ²	<i>p</i> _о , Вт/м	cosφ	<i>P</i> _{вст} , кВт	<i>Q</i> _{вст} , квар	<i>k</i> _п	<i>k</i> ₁	<i>P</i> _{р.ос} , кВт	<i>Q</i> _{р.ос} , квар	<i>S</i> _{р.ос} , кВА
1	Блок складів	1	74,0	36,0	2664,0	8	0,5	21,3	36,9	0,6	1,12	14,3	24,8	28,6
2	Деревообробний цех	1	48,0	12,0	576,0	16	0,5	9,2	16,0	0,85	1,12	8,8	15,2	17,5
3	Насосна станція	1	15,0	20,0	300,0	12	0,5	3,6	6,2	0,85	1,12	3,4	5,9	6,9
4	Компресорна станція	1	60,0	20,0	1200,0	14	0,5	16,8	29,1	0,85	1,12	16,0	27,7	32,0
5	Дизель-агрегатний цех	1	42,0	24,0	1008,0	18	0,5	18,1	31,4	0,85	1,12	17,3	29,9	34,5
6	Механічний цех	1	42,0	24,0	1008,0	18	0,5	18,1	31,4	0,85	1,12	17,3	29,9	34,5
7	Електротехнічний цех	1	38,0	24,0	912,0	20	0,5	18,2	31,6	0,85	1,12	17,4	30,1	34,7
8	Цех ВПРТ	1	120,0	40,0	4800,0	16	0,5	76,8	133,0	0,95	1,12	81,7	141,5	163,4
9	Цех періодичного огляду	1	120,0	25,0	3000,0	16	0,5	48,0	83,1	0,95	1,12	51,1	88,5	102,1
10	Зварювальний цех	1	31,0	20,0	620,0	18	0,5	11,2	19,3	0,85	1,12	10,6	18,4	21,2
11	Акумуляторне відділення	1	36,0	20,0	720,0	17	0,5	12,2	21,2	0,85	1,12	11,7	20,2	23,3
12	Випробовувальний цех	1	52,0	20,0	1040,0	16	0,5	16,6	28,8	0,85	1,12	15,8	27,4	31,7
13	Адмінкорпус	3	60,0	24,0	4320,0	22	0,9	95,0	46,0	0,8	1,20	91,2	44,2	101,4
14	Їдальня	2	40,0	40,0	3200,0	18	0,9	57,6	27,9	0,8	1,20	55,3	26,8	61,4
15	Побутові приміщення	1	25,0	20,0	500,0	16	0,9	8,0	3,9	0,8	1,20	7,7	3,7	8,5
16	Заготівельний цех	1	61,0	24,0	1464,0	16	0,5	23,4	40,6	0,85	1,12	22,3	38,6	44,6
17	Кузнечно-термічний цех	1	61,0	30,0	1830,0	16	0,5	29,3	50,7	0,85	1,12	27,9	48,3	55,7
18	Гальванічний цех	1	67,0	18,0	1206,0	18	0,5	21,7	37,6	0,85	1,12	20,7	35,8	41,3
19	Колісно-роликовий цех	1	67,0	24,0	1608,0	18	0,5	28,9	50,1	0,85	1,12	27,6	47,7	55,1
	Освітлення території		398,0	270,0	270,0	0,3	0,5	32,2	55,8	0,3	1,12	10,8	18,8	21,7
	Всього по локомотивному депо				75484,0			566,5	780,8			528,8	723,4	896,1

1.3 Розрахунок електричних навантажень у мережах вище 1000 В

У мережах з напругою понад 1000 В локомотивного депо в якості розрахункових вузлів електричних навантажень прийняті шини 10 кВ цехових ПС і збірні шини ЦРУ 10 кВ. До проведення розрахунку була визначена орієнтовна кількість трансформаторів цехових підстанцій і кількість підстанцій на яких вони встановлюються, а також намічене їх розташування на генеральному плані локомотивного депо. Цехи з розрахунковим навантаженням до 350 кВА, що знаходиться на відстані до 100 м від цехової ПС сусіднього цеху можуть бути підключеними до неї. Враховуючи, те що переважна кількість споживачів локомотивного депо (87%) належать до II-ї категорії за безперебійністю електропостачання [1], тому всі цехові підстанції оснащуються двома трансформаторами.

Нижче наведено детальний розрахунок електронавантажень споживачів, що підключені до ТП-2. Розрахунок виконано з виходячи з передумови повної компенсації реактивної енергії в цехових мережах до 1000 В депо.

Повне розрахункове навантаження на шинах 10 кВ ТП-2:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{831,1^2 + 278,4^2} = 876,5 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

де P_p – активна складова розрахункового навантаження на вводі ТП-2 (10 кВ):

$$P_p = P_{p.c} + P_{p.oc} + \Delta P_T = 679,7 + 142,4 + 9,0 = 831,1 \text{ кВт},$$

$P_{p.c}$ – активна складова розрахункового силового навантаження на шинах 0,4 кВ ТП-2:

$$P_{p.c} = k_M \cdot P_{сзм.с} = 581,9 \cdot 1,17 = 679,7 \text{ кВт},$$

k_M – коефіцієнт максимуму за активною потужністю споживачів ТП-2:

$$k_M = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot k_B^2 - 12,7 \cdot k_B + 8,235}{(k_B + 0,05) \cdot n_{\text{эф}}^{(1,04-0,4k_B)}}} = \sqrt{1 + \frac{4,4 \cdot 0,33^2 - 12,7 \cdot 0,33 + 8,235}{(0,33 + 0,05) \cdot 46^{(1,04-0,4 \cdot 0,33)}}} = 1,17$$

$P_{ср.зм}$ – групове середнє активне навантаження на вводі 10 кВ ТП-2:

$$P_{ср.зм} = \sum_i^n P_{ср.зм_i} = 60,7 + 193,3 + 107,4 + 320,3 = 722,4 \text{ кВт},$$

k_B – груповий коефіцієнт використання за активною потужністю

$$k_B = \frac{P_{ср.зм}}{\sum_{i=1}^n P_{ном_i}} = \frac{581,9}{1748,4} = 0,33,$$

$P_{ср.зм}$ – середнє активне навантаження електроприймачів ТП-2 за найбільш завантажену зміну, кВт;

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		14

$P_{\text{ном},i}$ – значення встановленої активної потужності електроприймачів ТП-2, кВт;
 $n_{\text{еф}}$ – ефективне число електроприймачів, що підключені до ТП-2 складе

$$n_{\text{еф}} = 2 \sum_{i=1}^n P_{\text{ном},i} / P_{\text{ном},\text{мін}} = 2 \cdot 1748,4 / 76,5 = 45,7 \approx 46 \text{ шт.},$$

з урахуванням, що

$$m = P_{\text{ном},\text{макс}} / P_{\text{ном},\text{мін}} = 76,3 / 0,5 > 3;$$

$P_{\text{р.ос}}$ – активна складова розрахункового освітлювального навантаження ТП-2:

$$P_{\text{р.ос}} = \sum_i^n P_{\text{р.ос},i} = 9,2 + 18,1 + 18,1 + 18,2 + 76,8 = 140,5 \text{ кВт};$$

ΔP – втрати активної потужності в двох ($n = 2$) трансформаторах ТП-2:

$$\Delta P = n \cdot (\Delta p_{\text{н.х}} + \Delta p_{\text{к.з}} \cdot k_3^2) = 2(1,06 + 7,45 \cdot 0,679^2) = 9,0 \text{ кВт};$$

$\Delta p_{\text{н.х}}$ – номінальні втрати неробочого ходу трансформатора ТМГ-630/10;

$\Delta p_{\text{к.з}}$ – втрати короткого замикання трансформатора ТМГ-630/10 при повному його завантаженні ($k_3 = 1$);

k_3 – середній коефіцієнт завантаження трансформаторів ТП-2;

$Q_{\text{р}}$ – реактивна складова розрахункового навантаження на вводі ТП-2 (10 кВ):

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{р.с}} + Q_{\text{ос}} - Q_{\text{ку}} + \Delta Q_{\text{т}} = 692,2 + 246,6 - 700 + 39,6 = 278,4 \text{ квар},$$

$Q_{\text{р.с}}$ – реактивна складова розрахункового силового навантаження на шинах 0,4 кВ ТП-2:

$$Q_{\text{р.с}} = Q_{\text{ср.зм}} = 692,2 \text{ квар},$$

з урахуванням, що $n_{\text{еф}} = 46 > 10$ шт.;

$Q_{\text{ос}}$ – реактивна складова розрахункового освітлювального навантаження ТП-2:

$$Q_{\text{р.ос}} = \sum_i^n Q_{\text{ос},i} = 15,2 + 29,9 + 29,9 + 30,1 + 141,5 = 246,6 \text{ квар};$$

$Q_{\text{ку}}$ – встановлена потужність конденсаторних установок з $U_{\text{ном}} = 0,4$ кВ на ТП-2, врахована зі знаком «-»;

ΔQ – втрати реактивної складової потужності в трансформаторах ТП-2:

$$\Delta Q = n \cdot S_{\text{ном}} \left(\frac{i_{\text{н.х}}}{100} + \frac{u_{\text{к.з}}}{100} \cdot k_3^2 \right) = 2 \cdot 630 \left(\frac{0,6}{100} + \frac{5,5}{100} \cdot 0,679^2 \right) = 39,6 \text{ квар}.$$

$i_{\text{н.х}}$, $u_{\text{к.з}}$ – каталожні значення, відповідно, струму неробочого ходу та напруги короткого замикання трансформатора ТМГ-630/10/0,4.

Розрахунок електричних навантажень для інших цехових ПС та локомотивного депо в цілому, аналогічний до представленого, тому виконаний у вигляді табл. 1.3.

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

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	Таблиця 1.3 - Розрахунок силових електричних навантажень у мережі 10 кВ локомотивного депо															
					№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	Кіль-к. ЕП	Встановлена потужність, кВт		m	K _в	cosφ	tgφ	Середнє наванта- ження за зміну,		n _е	K _м	Розрахункова потужність,		
								одного	сумарна					P _{ср} , кВт	Q _{ср} , квар			P _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
						ТП-1 (2х630 кВА)														
					3	Насосна станція														
						силове	11	2,2 - 11,0	85,2	5	0,69	0,80	0,75	58,9	44,2	11	1,16	68,1	44,2	81,2
						освітлювальне								3,6	6,2			3,4	5,9	
						Всього								62,5	50,4			71,5	50,1	
					4	Компресорна станція														
						силове	20	5,5 - 160,0	900,5	29	0,70	0,80	0,75	629,0	471,7	11	1,15	724,2	471,7	864,3
						освітлювальне								16,8	29,1			16,0	27,7	
						Всього по ТП-5, ТП-4 (3х630)														
						силове	31	2,2 - 160,0	985,7	73	0,70	0,80	0,75	687,9	515,9	12	1,14	786,1	515,9	940,2
						освітлювальне								20,4	35,3			19,4	33,6	
						батареї конденсаторів													-240,0	
						всього								708,3	551,2			805,5	309,5	862,9
						втрати у трансформаторах												9,1	40,1	
						Всього на шинах 10 кВ ТП-1												814,6	349,6	886,4
						ТП-2 (2х630 кВА)														
					2	Деревообробний цех														
						силове	18	2,3 - 10,0	107,6	4	0,29	0,69	1,06	31,5	33,5	18	1,41	44,4	33,5	55,6
						освітлювальне								9,2	16,0			8,8	15,2	
						Всього по цеху								40,7	49,4			53,2	48,7	72,1
					5	Дизель-агрегатний цех														
						силове	11	2,1 - 14,0	92,3	7	0,46	0,71	0,99	42,5	41,9	11	1,35	57,6	41,9	71,2
						освітлювальне								18,1	31,4			17,3	29,9	
						Всього по цеху								60,7	73,3			74,9	71,8	103,8
</																				

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата	Продовження табл. 2.3															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
					6	Механічний цех														
						силове	53	2,1 - 32,0	662,4	15	0,26	0,55	1,54	175,2	269,2	41	1,23	215,5	269,2	344,8
						освітлювальне								18,1	31,4			17,3	29,9	
						Всього по цеху								193,3	300,7			232,8	299,1	379,0
					7	Електротехнічний цех														
						силове	32	0,5 - 15,0	150,5	30	0,59	0,86	0,58	89,2	52,0	20	1,15	102,3	52,0	114,8
						освітлювальне								18,2	31,6			17,4	30,1	
						Всього по цеху								107,4	83,6			119,7	82,0	145,1
					8	Цех ВПРТ														
						силове	56	2,1 - 76,5	735,6	36	0,33	0,64	1,21	243,5	295,6	19	1,35	328,4	295,6	441,8
						освітлювальне по цеху								76,8	133,0			81,7	141,5	
						Всього по цеху								320,3	428,7			410,1	437,2	599,4
						Всього по ТП - 3 (2х630 кВА)														
						силове	170	0,5 - 76,5	1748,4	>3	0,33	0,64	1,19	581,9	692,2	46	1,17	679,7	692,2	970,1
						освітлювальне								140,5	243,4			142,4	246,6	
						батареї конденсаторів													-680,0	
						Всього								722,4	935,6			822,1	258,8	861,9
						втрати у трансформаторах												9,1	40,0	
						Всього на шинах 10 кВ ТП-2												831,2	298,8	883,3
						ТП-3 (2х630 кВА)														
					9	Цех періодичного огляду														
						силове	25	1,2 - 22,0	191,2	18	0,45	0,73	0,94	86,4	81,6	17	1,26	109,0	81,6	136,2
						освітлювальне								48,0	83,1			51,1	88,5	
						Всього по цеху								134,4	164,7			160,1	170,0	233,5
17	Арк.																			

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	ТП-5 (2х630 кВА)														
1	Блок складів														
	силове	15	0,6 - 11,0	89,2	18	0,63	0,72	0,96	55,9	53,5	15	1,16	64,9	53,5	84,1
	освітлювальне								21,3	36,9			14,3	24,8	
	Всього по цеху								77,2	90,4			79,2	78,3	111,4
18	Гальванічний цех														
	силове	18	2,2 - 80,0	300	36	0,69	0,88	0,55	207,5	114,5	8	1,20	248,0	125,9	278,2
	освітлювальне								21,7	37,6			20,7	35,8	
	Всього по цеху								229,2	152,1			268,7	161,7	313,6
19	Колісно-роликовий цех														
	силове	53	2,15 - 160,0	890,1	74	0,35	0,67	1,12	315,3	351,9	11	1,49	470,9	351,9	587,8
	освітлювальне								28,9	50,1			27,6	47,7	
	Всього по цеху								344,2	402,0			498,4	399,6	638,9
	Всього по ТП-5														
	силове	86	0,6 - 160,0	1279,3	>3	0,45	0,74	0,90	578,6	519,8	16	1,27	737,3	519,8	902,1
	освітлювальне								72,0	124,6			62,5	108,3	
	батареї конденсаторів													-300,0	
	Всього								650,6	644,5			799,8	328,2	864,6
	втрати у трансформаторах												9,1	40,2	
	Всього на шинах 10 кВ ТП-5												809,0	368,4	888,9
	Всього по локомотивному депо														
	силове	470	0,50 - 160,0	6394,8	>3	0,47	0,70	1,02	3011,0	3085,8	80	1,07	3226,9	3085,8	4464,8
	освітлювальне								566,5	780,8			528,8	723,4	
	батареї конденсаторів 0,4 кВ													-2540	
	Всього								3577,6	3866,6			3755,7	1269,2	3964,3
	батареї конденсаторів 10 кВ													-900,0	
	втрати у трансформаторах												45,6	200,7	
	Всього на шинах 10 кВ ЛД												3801,3	569,9	3843,8

1.4 Побудова графіків електричних навантажень депо

Вихідними даними для побудови графіків електричних навантажень є розраховані в р. 1.3 максимум електричного навантаження на шинах 10 кВ депо для зимової робочої доби. На основі яких визначаємо максимальні значення навантаження робочої літньої доби:

- активна складова

$$P_{\text{макс.л}} = k_p \cdot P_{\text{макс.з}} = 0,85 \cdot 3801,2 = 3231,0 \text{ кВт};$$

- реактивна складова

$$Q_{\text{макс.л}} = k_q \cdot Q_{\text{макс.з}} = 0,85 \cdot 559,3 = 475,4 \text{ квар},$$

де k_p , k_q – коефіцієнти пропорційності, відповідно, для активної та реактивної складової літнього максимуму навантаження.

Використовуючи типові графіки електричних навантажень для локомотивного депо та отримані значення максимальних навантажень визначаємо навантаження i -го ступеня відповідного добового графіку:

$$P_i = \frac{n_{p.i}}{100} \cdot P_{\text{макс.з(л)}} \text{ кВт}; \quad (1.1)$$

$$Q_i = \frac{n_{q.i}}{100} \cdot Q_{\text{макс.з(л)}}, \text{ квар} \quad (1.2)$$

де $n_{p.i}$ – ордината, яка відповідає i -му ступеню відповідного добового графіка електричного навантаження для активної потужності, %;

$n_{q.i}$ – ордината, яка відповідає i -му ступеню відповідного добового графіка електричного навантаження для реактивної потужності, %.

Значення i -го ступеня графіка повного навантаження розраховуються за виразом:

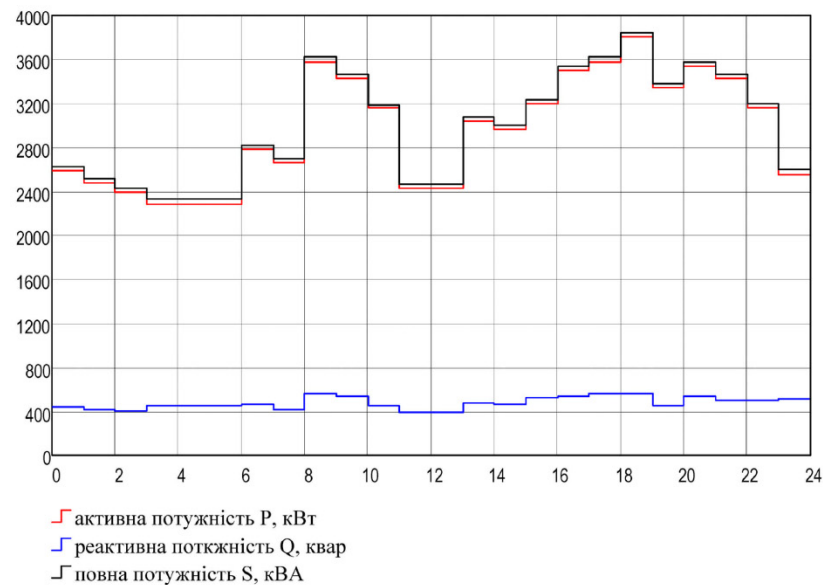
$$S_i = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2}, \text{ кВ} \cdot \text{А}. \quad (1.3)$$

Використовуючи вирази (1.1) – (1.3) були розраховані (табл. А.1-А.4 додатка А) та побудовані добові графіки електричних навантажень (рис. 1.1).

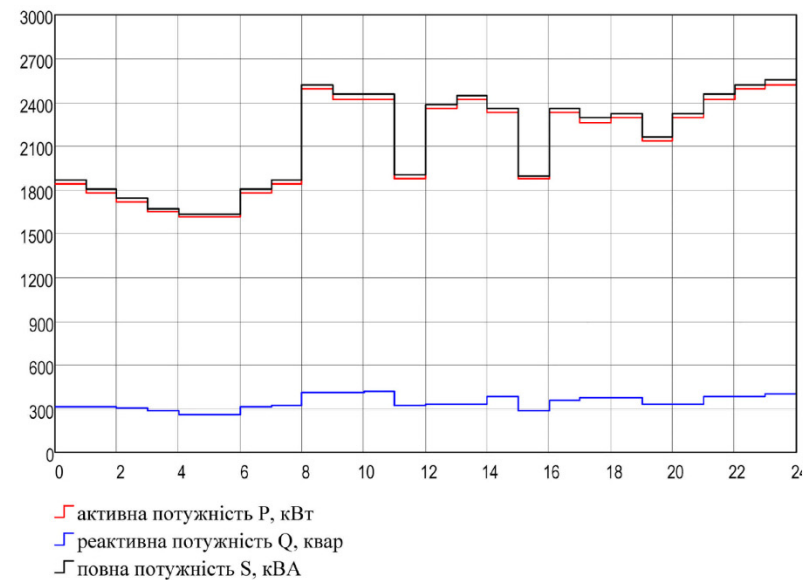
Для побудови річних графіків електричних навантажень було прийнято наступну тривалість періодів року: кількість робочих діб зимового періоду становить 147, а літнього – 105 діб; зимовий період містить 65 вихідних діб, а літній – 48 діб.

На основі даних добових графіків було річні графіки електронавантажень за тривалістю. Вихідні дані та результати розрахунків річного графіка за тривалістю наведені в табл. А.5 додатка А, а їх графічне відображення представлено на рис. 1.2.

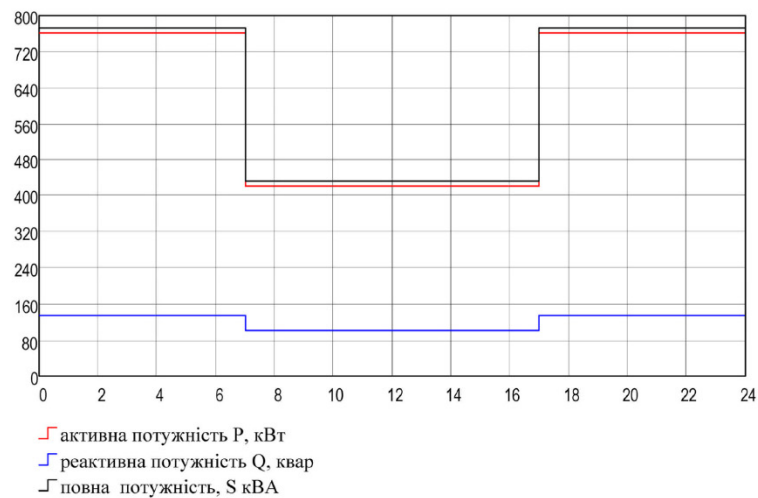
						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		21



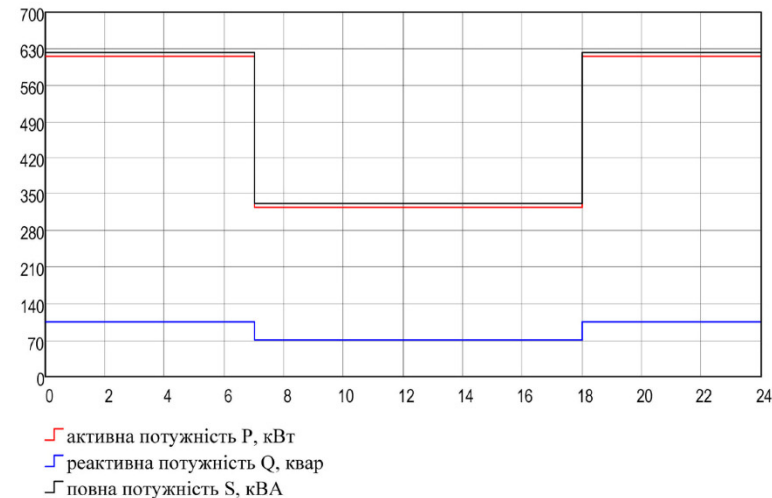
а)



в)



б)



г)

Рисунок 1.1 – Добові графіки електроспоживання локомотивного депо на шинах 10 кВ ЦРУ:
робоча (а) та вихідна (б) літня доба; робоча (в) і вихідна (г) зимова доба

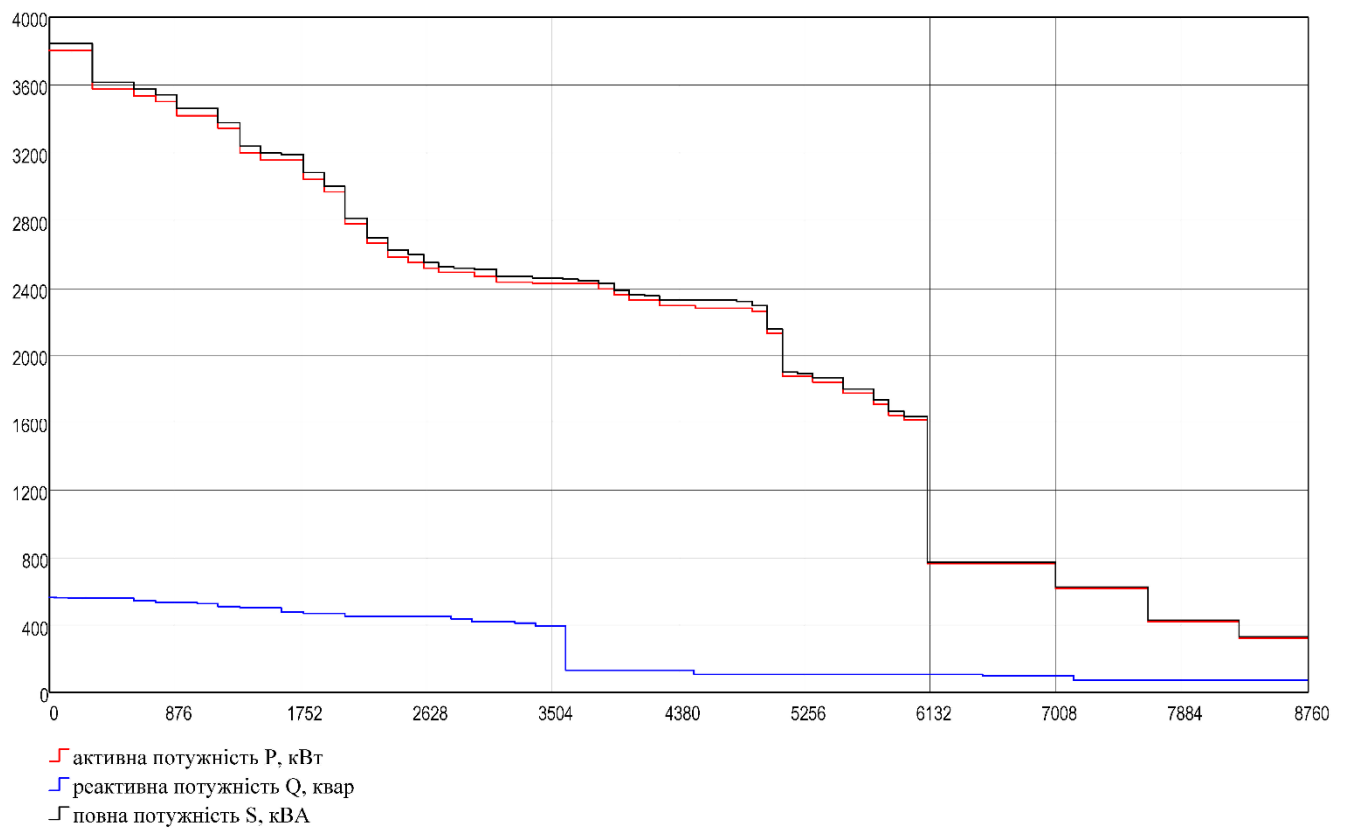


Рисунок 1.2 – Річні графіки електронавантажень за тривалістю

Річні витрати активної та реактивної енергії локомотивним депо:

$$W_p = \sum_{i=1}^n [147P_{з.р_i} + 65P_{з.в_i} + 105P_{л.р_i} + 48P_{л.в_i}] = 17257 \text{ МВт}$$

$$V_p = \sum_{i=1}^n [147Q_{з.р_i} + 65Q_{з.в_i} + 105Q_{л.р_i} + 48Q_{л.в_i}] = 2829,8 \text{ Мвар}$$

Час використання максимуму навантаження локомотивним депо:

$$T_{\text{макс}} = \frac{\sqrt{W_p^2 + V_p^2}}{S_p} = \frac{\sqrt{17257,0^2 + 2829,8^2}}{3842,1} = 4551,5 \text{ год.}$$

Річний час максимальних втрат локомотивного депо:

$$\tau = \left[0,124 + \frac{T_{\text{макс}}}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = \left[0,124 + \frac{4551,5}{10000} \right]^2 \cdot 8760 = 2938,2 \text{ год.}$$

2 ПОБУДОВА КАРТОГРАМИ НАВАНТАЖЕНЬ

З метою мінімізації довжини електромереж проектованої системи електропостачання локомотивного депо необхідно визначити оптимальне місце розташування її джерела живлення. Для цього на генеральному плані визначається умовна точка, що відповідає його центру ваги площини, на якій розрахункові навантаження цехів і підрозділів замінені на еквівалентні ваги. Ця точка є центром електричних навантажень (ЦЕН) підприємства.

Для визначення місця розміщення ЦЕН на генеральний план локомотивного депо наноситься картограма електричних навантажень. Для цього у вибраному масштабі для кожного цеху (підрозділу) визначається радіус кола r_i , площа якого пропорційна його активній складовій повного розрахункового навантаження $P_{p.\Sigma.i}$:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{p.\Sigma.i}}{\pi \cdot m}} \text{ мм},$$

де m – масштаб кола, у розрахунках приймаємо рівним $0,5 \text{ кВт/мм}^2$.

На кожному колі виокремлюється сектор, площа якого пропорційна активній складовій розрахункового освітлювального навантаження $P_{oc.p.i}$. Для його побудови визначається центральний кут α

$$\alpha_i = 360 \frac{P_{oc.p.i}}{P_{p.\Sigma.i}}.$$

Розрахунок картограми навантажень проведено у вигляді табл. Б.1 дод. Б.

На основі отриманих даних визначено координати ЦЕН локомотивного депо за виразами:

$$x_0 = \sum_{i=1}^n x_i P_{p.i} / \sum_{i=1}^n P_{p.\Sigma.i} = 924906,2 / 4378,0 = 211,3 \text{ м};$$

$$y_0 = \sum_{i=1}^n y_i P_{p.i} / \sum_{i=1}^n P_{p.\Sigma.i} = 738188,9 / 4378,0 = 168,6 \text{ м}$$

де n – кількість цехів локомотивного депо згідно генерального плану;

x_i, y_i – координати i -го цеху (підрозділу) на генплані;

$P_{p.i}$ – розрахункове навантаження i -го цеху (підрозділу).

Отже центр електричних навантажень підприємства знаходиться у точці з координатами $x_0 = 211,3 \text{ м}$, $y_0 = 168,6 \text{ м}$.

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

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

3.1 Схема приєднання та вибір напруги живлення

Різноманітні умови, що необхідно враховувати при проектуванні систем електропостачання промислового підприємства, зумовлюють можливість вибору та використання різних схем приєднання. Багаторічний досвід проектування та експлуатації дозволив визначити загальні підходи та розробити низку типових схемних рішень.

Тип схеми приєднання підприємства та рівень її напруги вибирається з урахуванням перспективи розвитку підприємства. Рівні напруги, що використовуються для зовнішнього електропостачання підприємства, залежать від розташованих поблизу джерел енергії енергопостачальних компаній (ЕПК), а також від величини його розрахункового електронавантаження. Додатково враховуються наступні фактори:

- наявність високовольтних електродвигунів з номінальною напругою 6 кВ;
- сумарна встановлена потужність електроприймачів підприємства;
- категорійність споживачів за безперебійністю електропостачання;
- відстані до ймовірних джерел енергопостачання.

Отже, визначення стандартного значення напруги схеми приєднання підприємства зводиться до вибору такого стандартного рівня, який задовольняє всім технічним вимогами, а також є найбільш економічно-доцільним.

Серед споживачів промислових об'єктів переважну більшість становлять ті, що належать до 1-ї та 2-ї категорій за безперебійністю електропостачання, тому їх живлення необхідно забезпечувати як мінімум двома окремими лініями, що підключені до двох незалежних джерел енергопостачання. Живлячі лінії обираються за пропускну здатністю таким чином, щоб у випадку виходу з ладу однієї – інша, та, що залишилась у роботі з урахуванням допустимого перевантаження, могла забезпечити живлення споживачів 1-ї й 2-ї категорій впродовж часу необхідного для ремонту схеми.

Локомотивне депо як споживач електроенергії відноситься до об'єкту середньої потужності, адже його встановлене навантаження складає 6,4 МВт. Депо не має електроприймачів з номінальною напругою 6 кВ. Відстань до джерела енергопостачання (ПС ЕПК) складає 3,3 км. Частка споживачів другої категорії надійності електропостачання становить 87%. Отже, схему приєднання локомотивного депо доцільно виконати за допомогою 2-х КЛ довжиною 3,3 км номінальною напругою 10 кВ, що підключаються до різних секцій живлячої ПС ЕПК. При цьому, на території депо споруджується один прийомний розподільчий пункт – центральна розподільна установка (ЦРУ). Живлячі КЛ 10 кВ повинні допускати подачу всієї споживаної потужності при виході з ладу однієї ланки.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		25

3.2 Вибір напруги і схеми внутрішнього електропостачання

Оптимальна конфігурація системи внутрішнього електропостачання значною мірою залежить від правильного вибору схемного рішення електропостачання.

Мережа внутрішнього електропостачання промислового об'єкта може бути виконана за радіальним, магістральним або комбінованим принципами побудови.

Радіальні схеми передбачають безпосередню передачу електричної енергії від джерела живлення до розподільчого пункту споживача (цехової ПС). Найчастіше застосовуються радіальні схеми, які мають не більше двох ступенів розгалуження.

Одноступінчасті радіальні схемні рішення, за звичай, використовуються на невеликих і середніх за потужністю промислових об'єктах для забезпечення електропостачання сконцентрованих споживачів. Радіальні схеми дозволяють виконати глибоке секціонування всієї системи електропостачання підприємства.

Магістральні схеми розподілу електроенергії використовуються у випадках, коли споживачі є численними та зосередженими. Головна перевага магістральних схем полягає в скороченні ланок комутації. Такі схемні рішення доцільно використовувати при лінійному розташуванні підстанцій на території промислового об'єкта. Кількість трансформаторів, які отримують живлення від однієї магістралі, залежить від їх номінальної потужності та умов забезпечення надійності електропостачання.

Існують одиничні, подвійні та *n*-магістральні схемні рішення. Головним недоліком одиничних магістральних схем є нижчий рівень надійності порівняно з радіальними схемами. Такі магістралі без резервування доцільно застосовувати лише для живлення споживачів 3-ї категорії [2, 6]. Схеми, що мають дві та більше наскрізні магістралі характеризуються високими показниками безвідмовності та можуть застосовуватись для електропостачання споживачів будь-якої категорії [2, 6].

У проектній та експлуатаційній практиці практично не зустрічаються схеми внутрішньозаводського розподілу електроенергії, що побудовані виключно за радіальним або магістральним принципом. Поєднання переваг радіальних та магістральних рішень дає змогу реалізувати систему електропостачання підприємства з найкращими техніко-економічними характеристиками.

Отже, приймаємо до розгляду такі варіанти внутрішнього електропостачання локомотивного депо:

1) електропостачання здійснюється від ЦРУ 10 кВ, що споруджується на території депо і використовується радіальна схема розподілу електроенергії із глухим приєднанням кабельних ліній до цехових трансформаторних підстанцій (рис. 3.1);

2) електропостачання здійснюється від ЦРУ 10 кВ, що споруджується на території депо та використовується змішана схема розподілу електроенергії. Трансформатори ТП-1, ТП-2, ТП-4, ТП-5 приєднуються до КЛ через запобіжник і вимикач навантаження (рис. 3.2), а трансформатори ТП-3 мають глухе приєднання.

Остаточне проектне рішення приймається на основі порівняння приведених витрат за варіантами.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		26

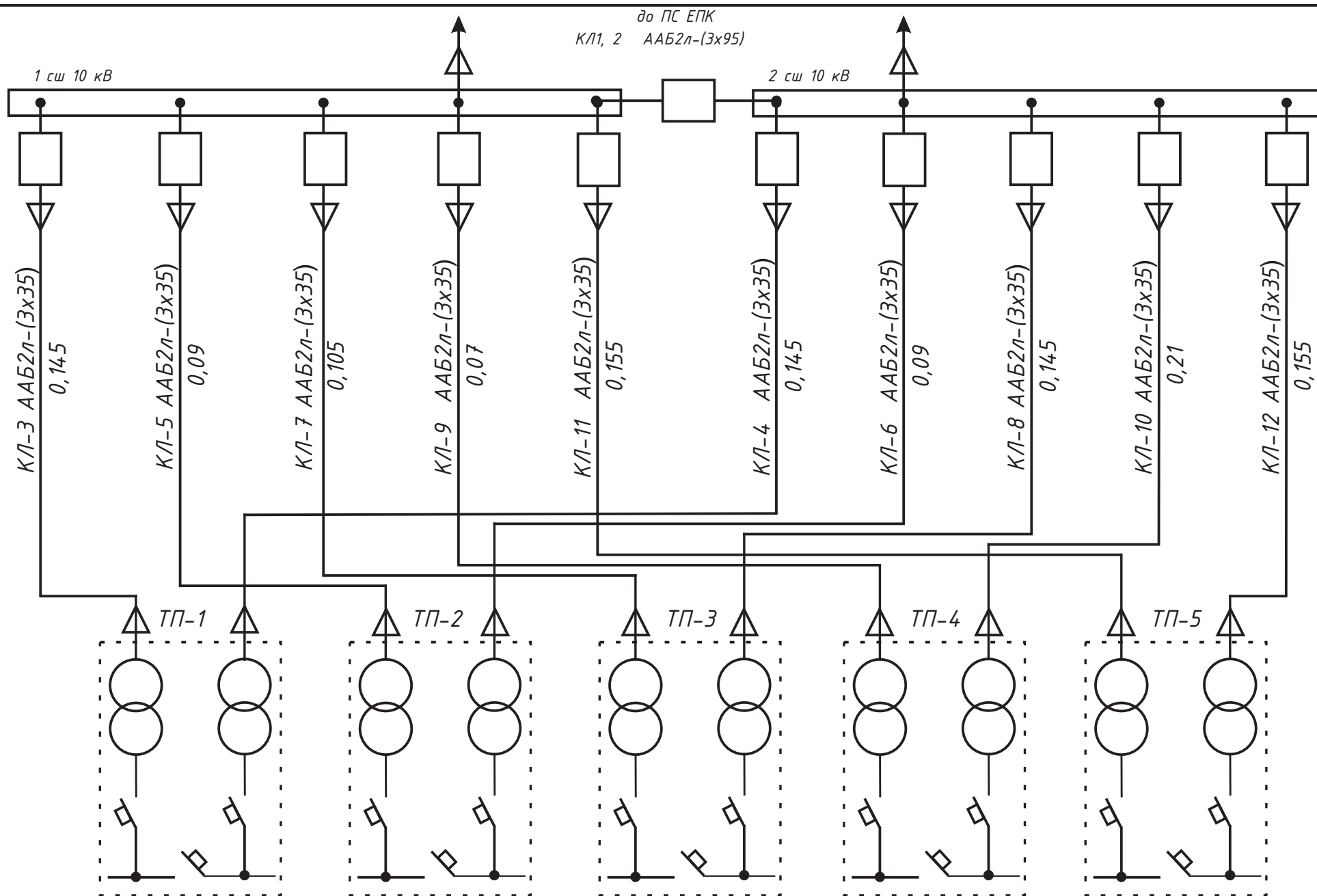
[illegible]

Рисунок 3.1 - Схема внутрішнього електропостачання локомотивного депо за варіантом №1

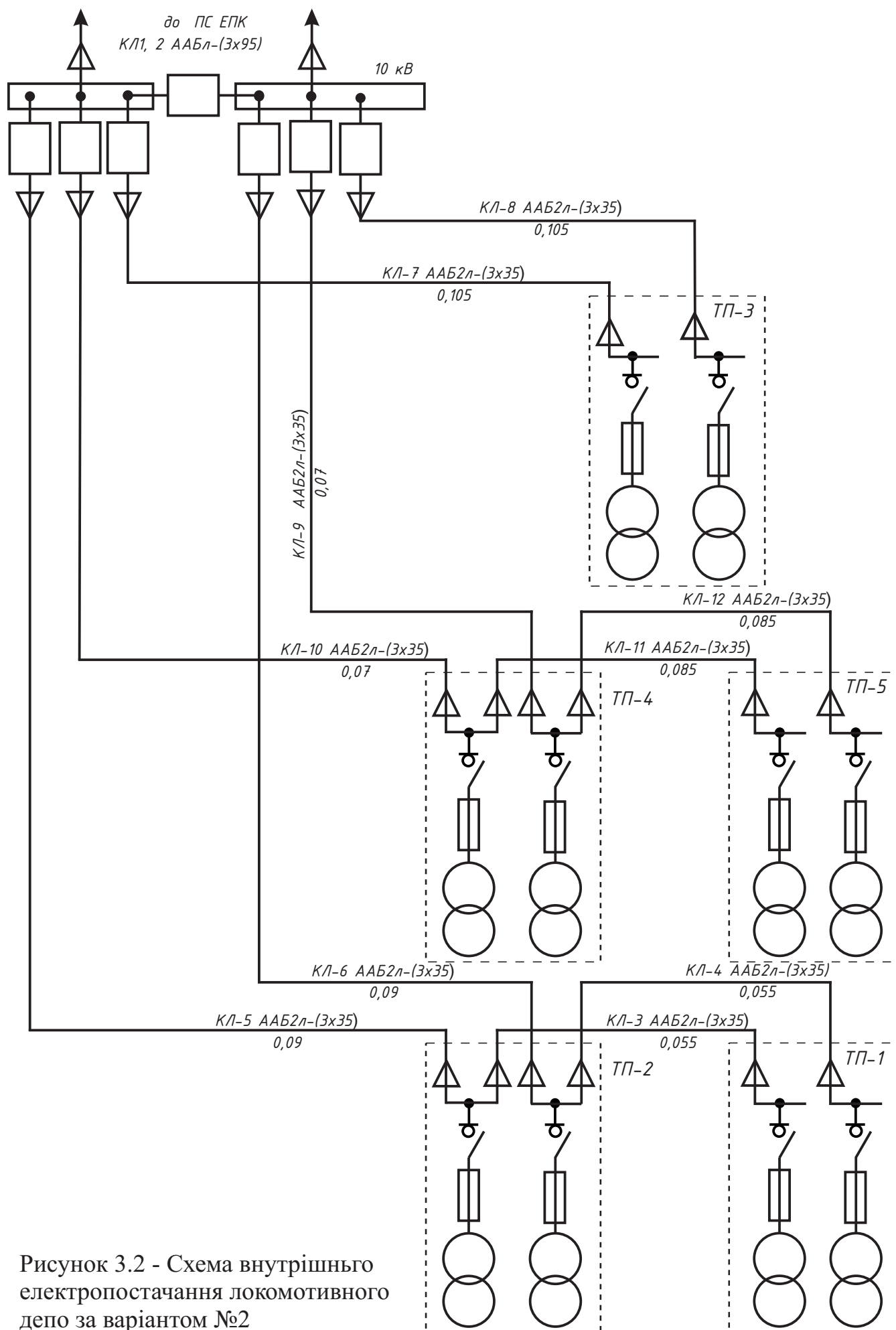


Рисунок 3.2 - Схема внутрішнього електропостачання локомотивного депо за варіантом №2

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата

Арк.

28

Вибір кабельних ліній

Проведемо детальний вибір кабельних ліній для варіанту №1 (рис. 3.1).

Розрахункові струми в КЛ-3(4) (ТП-2) складуть:

- нормальний режим роботи:

$$I_{\text{р.тп-2}} = \frac{S_{\text{р.тп2}}}{n \cdot \sqrt{3} U_{\text{м}}} = \frac{863,7}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 23,7 \text{ А};$$

- аварійний режим роботи

$$I_{\text{р.ав.тп-2}} = n I_{\text{р.тп-2}} = 2 \cdot 23,7 = 47,7 \text{ А.}$$

де $U_{\text{м}}$ – напруга живлячої мережі, кВ;

n – число КЛ по яких отримує живлення ТП-2, шт.

Попередньо приймаємо до розгляду кабель марки ААБ2л-(3х35). Тривало допустиме струмове навантаження цього кабелю при прокладанні в землі складає $I_{\text{доп}} = 110 \text{ А}$. Допустимий струм вибраного кабелю більший за розрахунковий внаслідок того, що в проектованій системі електропостачання мінімально-допустимий перетин кабелю за умовою термічної стійкості становить $F_{\text{мін}} = 35 \text{ мм}^2$, (див. р. 6).

Допустимий струм КЛ у нормальному режимі роботи з урахуванням прокладання в одній траншеї поруч кількох кабелів:

$$I'_{\text{доп}} = k_{\text{с.з.н}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,84 \cdot 110 = 92,4 \text{ А},$$

де $k_{\text{с.з.н}}$ – коригувальний коефіцієнт, що враховує кількість кабелів, які прокладені поруч у землі, для 4-х кабелів з відстанню між сусідніми кабелями 200 мм дорівнює 0,84.

Струм допустимого післяаварійного перевантаження кабелю тривалістю 6 год:

$$I_{\text{ав.доп}} = k_{\text{д.а.п}} \cdot I'_{\text{доп}} = 1,25 \cdot 92,4 = 115,5 \text{ А},$$

де $k_{\text{а.п}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження кабелю, з урахуванням того, що його завантаження в нормальному режимі роботи було менше 0,6

$$k_3 = I_{\text{р.тп-2}} / I'_{\text{доп}} = 23,7 / 92,4 = 0,26 < 0,6.$$

Перевірка кабелю на допустимість роботи в післяаварійному режимі

$$I_{\text{ав.доп}} = 115,5 > I_{\text{р.ав.тп-2}} = 47,7 \text{ А.}$$

Таким чином, попередньо обраний кабель марки ААБ2л-(3х35) задовольняє всім встановленим вимогам, тому приймаємо його до подальшого опрацювання.

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

Вибір інших кабелів для обох намічених варіантів, здійснюється аналогічним чином і приведений у табл. 3.1.

Для вибору кабельних ліній за вар. №2 виконуємо розрахунок навантажень магістральних ділянок КЛ за методом впорядкованих діаграм (див. р. 1.1). Результати розрахунку представлені в табл. В.1 додатку В.

Таблиця 3.1 – Вибір кабельних ліній розподільної мережі 10 кВ

№ вар	№ КЛ	№ ЕП	Тип КЛ	l , км	I_p , А	$I_{доп}$, А	$k_{с.з.н}$	I_d , А	$k_{ап}$	$k_{д.а.п}$	$I_{ав} < I_{ав.д}$, А
1	3, 4	ТП-1	ААБ2л-(3х35)	0,145	23,7	110	0,84	92,4	2	1,25	47,5 < 115,5
	5, 6	ТП-2	ААБ2л-(3х35)	0,090	24,1	110	0,84	92,4	2	1,25	48,2 < 115,5
	7, 8	ТП-3	ААБ2л-(3х35)	0,105	24,3	110	0,92	101,2	2	1,25	48,6 < 126,5
	9, 10	ТП-4	ААБ2л-(3х35)	0,070	24,9	110	0,84	92,4	2	1,25	49,7 < 115,5
	11, 12	ТП-5	ААБ2л-(3х35)	0,155	24,4	110	0,84	92,4	2	1,25	48,9 < 115,5
2	3, 4	ТП-1	ААБ2л-(3х35)	0,055	47,6	110	0,92	101,2	2	1,25	95,1 < 132,3
	5, 6	ТП-2	ААБ2л-(3х35)	0,090	24,1	110	0,92	101,2	2	1,25	48,2 < 132,3
	7, 8	ТП-3	ААБ2л-(3х35)	0,105	24,3	110	0,92	101,2	2	1,25	48,6 < 132,3
	9, 10	ТП-4	ААБ2л-(3х35)	0,070	45,7	110	0,92	101,2	2	1,25	91,4 < 132,3
	11, 12	ТП-5	ААБ2л-(3х35)	0,085	24,4	110	0,92	101,2	2	1,25	48,9 < 132,3

Вибір схеми внутрішнього електропостачання

Визначальним критерієм під час вибору схеми внутрішнього електропостачання локомотивного депо є мінімум приведених витрат.

Приведені витрати для варіанту №1 за 1 рік складуть:

$$P_{в1} = E_n \cdot K_1 + C_1 + B_1 = 0,12 \cdot 3195,2 + 507,0 + 74,9 = 965,3 \text{ тис. грн.}$$

де C_1 – поточні річні витрати на передачу та розподіл електроенергії у розподільній мережі 10 кВ депо, грн./рік;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, приймаємо рівним 0,12;

K_1 – сумарний обсяг капітальних вкладень у схему внутрішнього розподілу електроенергії депо, тис. грн;

B_1 – річна вартість втрат електроенергії, грн./рік;

З числа можливих варіантів схем внутрішнього електропостачання оптимальним буде той, – який забезпечує мінімальний розмір приведених витрат.

Сукупний обсяг капіталовкладень

Сукупний обсяг капіталовкладень для кожного окремого випадку визначається на основі укрупнених вартісних показників усіх елементів схеми електропостачання. Для обох намічених варіантів розрахунок виконаний у вигляді табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Сукупний обсяг капіталовкладень за варіантами

№ вар.	Елемент схеми електропостачання	Од. вим.	Кількість елементів схеми	Вартість одного, тис. грн	Вартість всього, тис. грн
I	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ типу ВР1-630-10	шт.	10	187,5	1875,0
	Кабельна лінія ААБ2Л-(3х35)	км	1,6	805,0	1320,2
	Всього				3195,2
II	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ типу ВР1-630-10	шт.	6	187,5	1125,0
	Вимикач навантаження типу ВНР-10 із запобіжником типу ПКТ	шт.	10	35,8	358,0
	Кабельна лінія ААБ2Л-(3х35)	км	0,81	805,0	652,1
	Всього				2135,1

Визначення поточних витрат

Розглянемо детально розрахунок поточних витрат для варіанту №1.

Сумарні поточні витрати для елементів схеми складуть:

$$C_{\text{вар.1}} = \sum_{i=1}^n C_i = 375,0 + 132,0 = 507,0 \text{ тис. грн.}$$

де C_i – поточні витрати на утримання i -го елемента (групи однакових елементів) схеми, для шаф КРУ з вакуумними вимикачами типу ВР1-630-10:

$$C_1 = A_1 + E_1 = \frac{K_1}{100} (H_{a.1} + H_{e.1}) = \frac{1875,0}{100} (15,0 + 5,0) = 375,0 \text{ тис. грн/рік.};$$

де A , H – річні, відповідно амортизаційні та експлуатаційні відрахування для i -го елемента (групи однакових елементів) схеми, тис. грн./рік;ф

H_a , H_e – норми відрахувань, відповідно, на амортизацію та експлуатацію, %.

Вихідні дані та результати розрахунку поточних витрат за наміченими варіантами внутрішнього електропостачання депо зведені до табл. 3.3.

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

Таблиця 3.3 – Розрахунок поточних витрат за варіантами електропостачання

№ вар.	Елемент схеми електропостачання	Норми відрахувань, %		Витрати, тис. грн.			
		H_a	H_c	K	A	E	C
I	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ типу ВР1-630-10	15,0	5,0	1875,0	281,3	93,8	375,0
	Кабельна лінія ААБ2Л-(3х35)	5,0	5,0	1320,2	66,0	66,0	132,0
	Всього						507,0
II	Шафи КРУ з вимикачами 10 кВ типу ВР1-630-10	15,0	5,0	1125,0	168,8	56,3	225,0
	Вимикач навантаження типу ВНР-10 із запобіжником типу ПКТ	15,0	5,0	358,0	53,7	17,9	71,6
	Кабельна лінія ААБ2Л-(3х35)	5,0	5,0	652,1	32,6	32,6	65,2
	Всього						361,8

Вартість втрат електроенергії

Розглянемо детальний розрахунок річної вартості втрат електроенергії для варіанту №1:

$$B_1 = c_0 \cdot \Delta E_n = 5,217 \cdot 14349,08 = 74859,15 \text{ грн./рік},$$

де c_0 – вартість 1 кВт·год електроенергії для споживачів 2-го класу напруги, грн.;

$\Delta E_{n,kl}$ – сумарні навантажувальні втрати електроенергії в кабельних лініях

$$\Delta E_{n,kl,\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta E_{n,kl,i} = 2476,3 + 1582,8 + 1563,3 + 1311,1 + 7415,6 = 14349,08 \text{ кВт·год};$$

$\Delta E_{n,kl,i}$ – навантажувальні втрати енергії у i -й кабельній лінії, для КЛ-3 і КЛ-4 складають

$$\Delta E_{kl-3,4} = \Delta P_{n,kl-3,4} \cdot \tau = 0,84 \cdot 2938,2 = 2476,3 \text{ кВт·год};$$

$\Delta P_{n,kl-3,4}$ – навантажувальні втрати активної потужності в КЛ-3 і КЛ-4

$$\Delta P_{n,kl-3,4} = \Delta p_{kl} \cdot l \cdot k_3^2 = 44 \cdot 0,29 \cdot 0,26^2 = 0,84 \text{ кВт},$$

$\Delta p_{пл}$ – питомі втрати активної потужності в кабелю з перерізом 35 мм² при повному струмовому його завантаженню, кВт/км;

k_3 – коефіцієнт завантаження кабельних ліній КЛ-3, КЛ-4 в нормальному режимі роботи;

l – сумарна довжина КЛ-3 і КЛ-4, км.

Детальний розрахунок річної вартості втрат електроенергії для окремих КЛ та для варіантів у цілому представлений у табл. 3.4.

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

Таблиця 3.4 – Розрахунок річної вартості втрат електроенергії за варіантами

№ вар.	Назва ЕП	Номер КЛ	Марка кабелю	Δp , кВт/км	k_3	l_{Σ} , км	ΔP , кВт	ΔE , кВт·год /рік	$B \cdot 10^3$, грн. / рік
I	Кабельна лінія	3, 4	ААБ2Л-(3х35)	44	0,25	0,29	0,84	2476,3	12,9
		5, 6	ААБ2Л-(3х35)	44	0,25	0,18	0,54	1582,8	8,3
		7, 8	ААБ2Л-(3х35)	44	0,23	0,21	0,53	1563,3	8,2
		9, 10	ААБ2Л-(3х35)	44	0,26	0,14	0,45	1311,1	6,8
		11, 12	ААБ2Л-(3х35)	44	0,25	0,82	2,52	7415,6	38,7
Всього						1,64		14349,08	74,9
II	Кабельна лінія	3, 4	ААБ2Л-(3х35)	44	0,45	0,11	1,1	3141,7	16,4
		5, 6	ААБ2Л-(3х35)	44	0,23	0,18	0,4	1319,5	6,9
		7, 8	ААБ2Л-(3х35)	44	0,23	0,21	0,5	1563,3	8,2
		9, 10	ААБ2Л-(3х35)	44	0,43	0,14	1,3	3692,9	19,3
		11, 12	ААБ2Л-(3х35)	44	0,23	0,17	0,4	1281,6	6,7
Всього						0,81		10999,05	57,38

Результати розрахунку складових приведених витрат за варіантами схем зовнішнього електропостачання представлено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Складові приведених за варіантами схеми зовнішнього електропостачання

Показники	Од. вим.	Варіант	
		1	2
Капіталовкладення	тис. грн.	3195,2	2135,1
Поточні витрати	тис. грн.	507,0	361,8
Вартість втрат електроенергії	тис. грн.	74,9	57,4
Приведені витрати	тис. грн.	965,3	675,4

Використовуючи дані з табл. 3.5 виконуємо порівняння отриманих приведених витрат для намічених варіантів:

$$П_{в1} = 965,3 > П_{в2} = 675,4 \text{ тис. грн.};$$

отже, приймаємо до подальшого розгляду схему внутрішнього електропостачання локомотивного депо за варіантом №2.

4 КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

4.1 Розрахунок балансу реактивної потужності та вибір конденсаторних установок

Сумарне споживання активної потужності на стороні 10 кВ депо:

$$P_p = P_n + \Delta P_{тр} = 0 + 4116,2 + 42,4 = 4158,6 \text{ кВт},$$

де P_n – сумарна споживана активна потужність на стороні 0,4 кВ депо:

$$P_n = \sum P_{тп.i} = 805,5 + 822,1 + 846,2 + 842,5 + 799,8 = 4116,2 \text{ кВт};$$

$P_{тп.i}$ – розрахункове навантаження i -ї підстанції на шинах 0,4 кВ;

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

$$\Delta P_{тр} = \sum \Delta P_{тр.i} = 8,2 + 8,5 + 8,8 + 8,8 + 8,1 = 42,4 \text{ кВт};$$

$\Delta P_{тр.i}$ – втрати активної потужності в i -му цеховому трансформаторі, кВт.

Сумарне споживання реактивної потужності на стороні 10 кВ депо:

$$Q_p = Q_n + \Delta Q_{тр} = 0 + 3809,2 + 185,8 = 3995,0 \text{ квар};$$

де Q_n – сумарна споживана реактивна потужність на стороні 0,4 кВ депо:

$$Q_n = \sum Q_{тп.i} = 549,5 + 938,8 + 680,1 + 1012,5 + 628,2 = 3809,2 \text{ квар}.$$

$Q_{тп.i}$ – розрахункове реактивне навантаження i -ї підстанції на шинах 0,4 кВ;

$\Delta Q_{тр}$ – сумарні втрати реактивної потужності в трансформаторах цехових ПС

$$\Delta Q_{тр} = \sum \Delta Q_{тр.i} = 35,9 + 37,1 + 38,8 + 38,5 + 35,5 = 185,8 \text{ квар}.$$

Економічно обґрунтована потужність, яку доцільно передавати від енергосистеми

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_c = 4158,6 \cdot 0,15 = 623,8 \text{ квар}.$$

Мінімально необхідна цехових кількість трансформаторів у мережі 10 кВ локомотивного депо:

$$N_0 = P_n / (k_3 \cdot S_{т.ном}) = 4116,2 / (0,69 \cdot 630) = 9,5 \text{ шт.},$$

де k_3 – коефіцієнт завантаження трансформаторів визначено за табл. 1.3, $k_3 = 0,69$.

Отже, приймаємо мінімальне число цехових трансформаторів рівним 10 шт.

Проведемо детально розрахунок 1-го варіанту компенсації реактивної потужності при $N_0 = 10$.

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

Варіант 1. Реактивна потужність, яка може бути передана в мережу 0,4 кВ локомотивного депо за допомогою 10-ти цехових трансформаторів:

$$Q_1 = \sqrt{(N_0 \cdot S_{\text{т.ном}} \cdot k_3)^2 - P_p^2} = \sqrt{(10 \cdot 630 \cdot 0,69)^2 - 4116,2^2} = 1397,7 \text{ квар.}$$

Серед споживачів локомотивного депо відсутні синхронні двигуни, тому компенсація реактивної потужності доцільно здійснювати за допомогою конденсаторних установок (КУ).

Реактивну потужність КУ, які необхідно встановити в мережі 0,4 кВ визначаємо з умови балансу реактивної потужності на стороні 10 кВ депо:

$$Q_{\text{ку.нн}} = Q_n - Q_1 = 4116,2 - 1397,7 = 2411,5 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення стандартні КУ 0,4 кВ з сумарною потужністю $\sum Q_{\text{ку.нн.ст}} = 2540 \text{ квар.}$

Уточнене значення Q_1 складе

$$Q_{1.\text{ут}} = Q_n - Q_{\text{ку.нн.ст}} = 4116,2 - 2540 = 1269,2 \text{ квар.}$$

Реактивна потужність КУ, які необхідно встановити в мережі 10 кВ:

$$Q_{\text{кв}} = Q_p - Q_{\text{ку.нн.ст}} - Q_e = 3995,0 - 2540 - 623,8 = 821,2 \text{ квар.}$$

Приймаємо до встановлення стандартні КУ 10 кВ із сумарною потужністю $\sum Q_{\text{ку.вн.ст}} = 900 \text{ квар (2x450 квар).}$

Розрахунок варіантів компенсації реактивної потужності з N_0+1 та N_0+2 , виконується аналогічно, тому результати розрахунку представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Варіанти компенсації реактивної потужності

Розрахунковий параметр	Одиниця вимірювання	Номер варіанту		
		1	2	3
n	шт.	10	11	12
Q_1	квар	1397,7	2103,1	2886,5
$Q_{\text{ку.нн}}$	квар	2411,5	1706,1	922,7
$Q_{\text{ку.нн.ст}}$	квар	2540,0	1740,0	920,0
$Q_{1.\text{ут}}$	квар	1269,2	2059,2	2889,2
$Q_{\text{ку.вн}}$	квар	831,2	1631,2	2451,2
$Q_{\text{ку.вн.ст}}$	квар	900	1800	2550,0
Всього	квар	4073,8	4173,8	4093,8
Різниця в балансах	квар	-68,8	-178,8	98,8

4.2 Визначення кількості, потужності й місця встановлення конденсаторних установок

Вибір необхідної потужності та місця розміщення конденсаторних установок здійснюється шляхом економічного порівняння намічених раніше варіантів. При цьому визначальним критерієм є мінімум приведених витрат.

Виконаємо детально розрахунок для 1-го варіанту ($n = 10$ шт.)

Приведені витрати на компенсацію реактивної потужності в системі електропостачання локомотивного депо:

$$\begin{aligned} ПВ_1 &= E_n \cdot (K_{ку.нн} + K_{ку.вн} + K_{тп}) + (\Delta P_{ку.вн} + \Delta P_{ку.нн} + \Delta P_{тп}) \cdot c_0 \cdot \tau = \\ &= 0,32 \cdot (1178,5 + 1131,8 + 0) + (10,1 + 2,7 + 3,0) \cdot 5,217 \cdot 10^{-3} \cdot 2938,2 = \\ &= 977,3 \text{ тис. грн.}, \end{aligned}$$

де E – сумарні щорічні відрахування:

$$E = E_n + H_a + H_e = 0,12 + 0,15 + 0,05 = 0,32,$$

E_n – нормативний к-т ефективності капітальних вкладень у систему компенсації реактивної потужності депо;

$K_{ку.нн}$ – сумарна вартість КУ 0,4 кВ, які встановлюються на цехових ПС:

$$\begin{aligned} K_{ку.нн} &= \sum N_{бк0,4i} \cdot K_{бк0,4i} = 2 \cdot 182850 + 2 \cdot 152370 + 2 \cdot 120450 + 2 \cdot 72720 + 2 \cdot 60840 = \\ &= 1178,5 \text{ тис. грн.}; \end{aligned}$$

$N_{ку.нн.i}$ – кількість КУ 0,4 кВ i -го номіналу, шт;

$K_{ку.нн.i}$ – вартість КУ 0,4 кВ i -го номіналу, грн.;

$K_{ку.вн.i}$ – сумарна вартість КУ 10 кВ і додаткового обладнання до них:

$$K_{ку.вн} = \sum N_{ку.вн.i} \cdot K_{ку.вн.i} + N_{ш.i} \cdot K_{ш.i} = 2 \cdot 378,4 + 2 \cdot 187,5 = 1131,8 \text{ тис. грн.}$$

$N_{ку.вн.i}$ – кількість КУ 10 кВ i -го номіналу, шт.;

$K_{ку.вн.i}$ – вартість КУ 10 кВ i -го номіналу, тис. грн.;

$N_{ш.i}$ – кількість шаф з вакуумними вимикачами 10 кВ, шт.;

$K_{ш.i}$ – вартість шаф з вакуумними вимикачами 10 кВ, тис. грн.;

$\Delta P_{тп}$ – втрати активної потужності внаслідок передачі реактивної потужності з мережі 10 кВ через цехові трансформатори в мережу 0,4 кВ:

$$\Delta P_{тп} = \frac{Q_{п}^2 \cdot R_{ек}}{U_{т.ном}^2} = \frac{1259,2^2 \cdot 1,9 \cdot 10^{-4}}{10^2} = 3,0 \text{ кВт},$$

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

$R_{ек}$ – еквівалентний опір трансформаторів марки ТМГ-630/10

$$R_{ек} = \frac{\Delta p_{кз} \cdot U_{ном}^2}{N_0 S_{т.ном}^2} = \frac{7,45 \cdot 10^2}{10 \cdot 630^2} = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ кОм.}$$

$\Delta P_{ку.нн}$ – втрати активної потужності в КУ 0,4 кВ

$$\Delta P_{кн} = \Delta P_{пит} \cdot Q_{кн} = 0,0045 \cdot 2250 = 10,1 \text{ кВт;}$$

$\Delta P_{ку.вн}$ – втрати активної потужності в КУ10 кВ

$$\Delta P_{ку.вн} = \Delta P_{пит} \cdot Q_{ку.вн} = 0,003 \cdot 900 = 2,7 \text{ кВт.}$$

Розрахунок приведених витрат на компенсацію реактивної потужності у системі електропостачання локомотивного депо для 2-го та 3-го варіантів виконаний за тією ж методикою, що й попередній, а його результати представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок річних витрат на компенсацію реактивної потужності

№ п/п	Параметр	Одиниця вимір.	Номер варіанту		
			1	2	3
1	n	шт.	10	11	12
2	$R_{ек} \cdot 10^{-4}$	Ом	1,9	1,7	1,6
3	$\Delta P_{ку.нн}$	кВт	10,1	7,86	4,2
4	$\Delta P_{ку.вн}$	кВт	2,7	5,4	7,65
5	$\Delta P_{тп}$	кВт	3,0	3,5	13,3
6	$K_{ку.нн}$	тис. грн.	1178,5	824,6	451,2
7	$K_{ку.вн}$	тис. грн.	1131,8	1871,4	1871,4
8	$K_{ктп}$	тис. грн.	0,0	550,0*	1287,5
9	$ПВ$	тис. грн.	977,3	1291,2	1857,6

*Примітка. При розрахунку сумарних капіталовкладень на встановлення додаткового цехового трансформатора, вважається, що він підключається до існуючої магістральної лінії.

Таким чином, приведені витрати на компенсацію реактивної потужності за 1-м варіантом виявилися найнижчими:

$$ПВ_1 = 977,3 < ПВ_2 = 1291,2 < ПВ_3 = 1857,6 \text{ тис. грн.}$$

Тому обираємо цей варіант для подальшого розгляду.

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

Для визначення потужності КУ для установки на конкретній цеховій підстанції знаходиться потужність Q_1 , що може бути передана через трансформатори цієї підстанції в мережу 0,4 кВ. Потім визначається необхідна потужність КУ для даної підстанції та на основі неї вибираються стандартні конденсаторні установки. Розглянемо цей вибір на прикладі ТП-5.

Реактивна потужність, яку необхідно компенсувати в мережі 0,4 кВ ТП-5:

$$Q_1 = \sqrt{(n \cdot S_{\text{т.ном}} \cdot k_3)^2 - P_{\text{н}}^2} = \sqrt{(2 \cdot 630 \cdot 0,69)^2 - 842,5^2} = 214,6 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{ку.нн}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{п}} = 628,2 - 340,7 = 287,4 \text{ квар.}$$

Приймаємо до установки дві конденсаторні установки марки ККУ-0,4-150/6-10-21У3 сумарною потужністю 300 квар.

Розрахунки для інших ТП аналогічні, тому їх результати зведені табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вибір кількості, потужності та місце розташування КУ 0,4 кВ

№ ТП	$N_{\text{тр}}$	$P_{\text{р}}$, кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	Q_1 , квар	$Q_{\text{ку}}$, квар	$N_{\text{ку}}$, шт.	Марка конденсаторної установки	$\Sigma Q_{\text{ку}}$, квар	k_3	S , кВА
Варіант 1										
1	2	805,5	549,5	327,2	222,3	2	ККУ-0,4-120/4-10-21У3	240,0	862,9	0,68
2	2	822,1	938,8	282,8	656,1	2	ККУ-0,4-340/9-20-21У3	680,0	861,9	0,68
3	2	846,2	680,1	199,4	480,7	2	ККУ-0,4-260/7-10-21У3	520,0	861,2	0,68
4	2	842,5	1012,5	214,6	798,0	2	ККУ-0,4-400/11-20-21У3	800,0	868,9	0,69
5	2	799,8	628,2	340,7	287,4	2	ККУ-0,4-150/6-10-21У3	300,0	864,6	0,69
Всього	10	4116,2	3809,2	1364,7	2444,5	10		2540,0		0,69
Варіант 2										
1	2	805,5	549,5	359,4	190,2	2	ККУ-0,4-100/4-10-21У3	200,0	878,0	0,70
2	3	822,1	938,8	938,1	0,7	0	–	0,0	1247,9	0,66
3	2	846,2	680,1	199,4	480,7	2	ККУ-0,4-240/6-20-21У3	480,0	892,4	0,71
4	2	842,5	1012,5	261,0	751,6	2	ККУ-0,4-380/10-20-21У3	760,0	879,5	0,70
5	2	799,8	628,2	340,7	287,4	2	ККУ-0,4-150/6-10-21У3	300,0	864,6	0,69
Всього	11	4116,2	3809,2	2098,7	1710,5	8		1740		
Варіант 3										
1	2	805,5	549,5	359,4	190,2	2	ККУ-0,4-100/4-10-21У3	200,0	878,0	0,70
2	3	822,1	938,8	938,1	0,7	0	–	0,0	1247,9	0,66
3	2	846,2	680,1	248,7	431,4	2	ККУ-0,4-240/6-20-21У3	480,0	869,6	0,69
4	3	842,5	1012,5	1012,7	-0,2	0	–	0,0	1317,2	0,70
5	2	799,8	628,2	371,7	256,5	2	ККУ-0,4-120/4-10-21У3	240,0	889,1	0,71
Всього	12	4116,2	3809,2	2930,6	878,6	6		920		

5. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ

5.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій

У системі електропостачання локомотивного депо встановлюються двотрансформаторні цехові підстанції. Це зумовлено такими факторами:

- переважна кількість споживачів, що підключені до цехових ПС, належать до II категорії за вимогами надійності електропостачання;
- електричні навантаження є зосередженими;
- депо працює цілодобово;
- на підприємстві відсутній резервний запас цехових трансформаторів.

Кількість та потужність трансформаторів цехових ПС взаємопов'язані, так для заданого розрахункового навантаження депо S_p кількість трансформаторів буде залежати від прийнятої одиничної потужності трансформатора КТП.

Отже, кількість трансформаторів вибираємо на основі рекомендованих коефіцієнтів завантаження, що дорівнюють 0,65-0,7 для двотрансформаторних ПС з переважаючим навантаженнями I, II категорії [2]. За цими коефіцієнтами завантаження для 5 цехових ПС із загальним навантаженням $S_p = 3843,8$ кВ·А обраємо 10 трансформаторів з номінальною потужністю 630 кВ·А кожен.

Перевірку правильності вибору кількості та потужності трансформаторів проведено за методом питомої густини навантаження. Відповідно до цього методу розрахункова кількість трансформаторів складе:

$$N_T = S_p / (k_z / S_{e.ном}) = 3843,8 / (0,68 \cdot 630) = 9,1 \text{ шт.}$$

де $S_{e.ном}$ – економічно доцільна номінальна потужність трансформатора, визначаємо в залежності від питомої густини навантаження

$$S_{\pi} = S_p / F = 3842,1 / 75484 = 0,05 \text{ кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2.$$

Для $S_{\pi} \ll 0,2$ кВ·А/м² приймаємо $S_{e.ном} = 630$ кВ·А.

Остаточного приймаємо до встановлення 10 трансформаторів одиничною потужністю 630 кВА кожен, марки ТМГ-630/10/0,4, які за допустимого перевантаження в післяаварійному режимі роботи забезпечують споживачів необхідною потужністю. Деталі вибору наведено в Додатку Б, табл. Б.1

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

5.2 Компоновка та місце розташування цехових трансформаторних підстанцій

На промислових підприємствах найбільш поширене використання комплектних трансформаторних підстанцій (КТП). Їхнє розташування визначається розміром, характером і місцем знаходження електричних навантажень на генеральному плані цеху.

КТП можуть мати різні компоновки:

- окремо розташовані КТП – автономні споруди з одним або двома трансформаторами, можуть бути з розподільним пристроєм або без нього, іноді обладнані розподільним пристроєм високої напруги та конденсаторною установкою 0,4 кВ. Можлива також відкрита установка трансформаторів;

- прибудовані КТП – мають одну або дві спільні стіни з промисловою будівлею, при цьому сама підстанція розміщена зовні. Архітектори часто виступають проти такого рішення, оскільки прибудовані КТП у більшості випадків погіршують зовнішній вигляд будівель;

- вбудовані КТП – одна стіна збігається зі стіною промислової будівлі, але сама підстанція розміщена всередині приміщення;

- внутрішні КТП – повністю розташовані всередині виробничих приміщень.

У цехах локомотивного депо встановлюються двотрансформаторні КТП. Їх здійснюється індивідуально на основі ретельного врахування низки чинників: архітектурно-будівельних і експлуатаційних вимог, планування виробничих приміщень, розміщення технологічного обладнання, а також вимог до навколишнього середовища, охолодження, пожежо- та електробезпеки.

Підстанції ТП-1 – ТП-5 виконані вбудованими у виробничі приміщення, але при цьому знаходяться в окремих приміщеннях. Таке рішення пов'язане з урахуванням категорії приміщень за пожежо- та вибухонебезпекою, а також максимально наблизити трансформатори до електроприймачів цехової мережі 0,4 кВ. У результаті скорочується довжина електричних мереж напругою 0,4 кВ, а отже значно зменшуються в них втрати електричної енергії.

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

6 РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ І ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ТА СИЛОВИХ МЕРЕЖ

6.1 Розрахунок струмів КЗ

Розрахунок струмів трифазного короткого замикання (КЗ) необхідний для правильного вибору та перевірки високовольних електроапаратів і КЛ.

Детальний розрахунок струмів КЗ виконано для однієї магістральної лінії системи електропостачання (СЕС) депо в максимальному режимі роботи енергосистеми. Для інших ліній результати розрахунку наведено в табл. 6.1

Приймаємо наступні базисні величини: напруги $U_{6.I} = 36,8$ кВ, $U_{6.II} = 10,5$ кВ відповідно, для I-го та II-го базисних ступенів; потужність $S_6 = 1000$ МВ·А. За цими базисними величинами базисні струми становитимуть:

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

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

Розрахункову схему СЕС локомотивного депо представлено на рис. 6.1.

Параметри схеми заміщення системи СЕС локомотивного депо:

- опір системи

$$x_{c*} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кз.с.макс}} \cdot U_{\text{ср}}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 4,149 \cdot 36,8} = 3,78;$$

- трансформатора живлячої ПС енергосистеми:

$$r_{T*} = \Delta P_{\text{кз}} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{Т.НОМ}}^2} = 0,085 \cdot \frac{1000}{16^2} = 0,33;$$

$$x_{T*} = \frac{u_{\text{к.з}}}{100\%} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{Т.НОМ}}^2} = \frac{10}{100} \cdot \frac{1000}{16^2} = 6,25;$$

- кабельних ліній розподільної мережі 10 кВ депо:

КЛ-1

$$r_{\text{кл1}*} = r_0 \cdot l_{\text{кл1}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,326 \cdot 3,3 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 9,758;$$

$$x_{\text{кл1}*} = x_0 \cdot l_{\text{кл1}} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,083 \cdot 3,3 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 2,484;$$

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

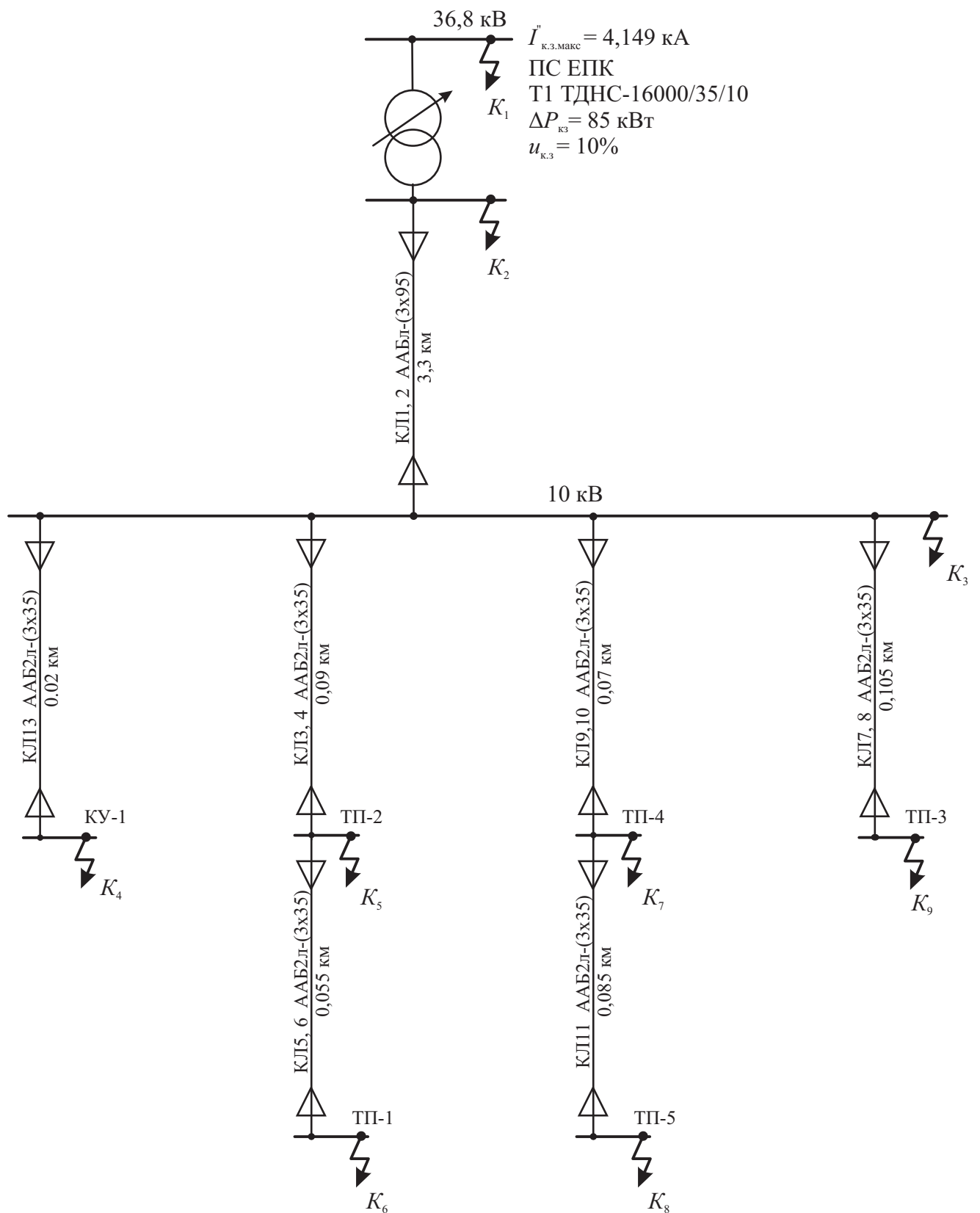


Рисунок 6.1 - Розрахункова схема СЕП локомотивного депо

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

КЛ-9:

$$r_{\text{кл}9*} = r_0 \cdot l_{\text{кл}9} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,89 \cdot 0,105 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,848;$$

$$x_{\text{кл}9*} = x_0 \cdot l_{\text{кл}9} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,095 \cdot 0,105 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,09;$$

КЛ-10:

$$r_{\text{кл}10*} = r_0 \cdot l_{\text{кл}10} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,89 \cdot 0,085 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,565;$$

$$x_{\text{кл}10*} = x_0 \cdot l_{\text{кл}10} \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2} = 0,095 \cdot 0,085 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,06;$$

де x_0 , r_0 , l – відповідно, питомий індуктивний та активний опори Ом/км і довжина кабельних ліній, км.

Підсумковий опір у колі намічених точок КЗ:

- точка K_2 :

$$r_{\text{рез}2*} = r_{\text{с}*} + r_{\text{т}*} = 0 + 0,33 = 0,33;$$

$$x_{\text{рез}2*} = x_{\text{с}*} + x_{\text{т}} = 3,78 + 6,25 = 10,03;$$

$$z_{\text{рез}2*} = \sqrt{r_{\text{рез}2*}^2 + x_{\text{рез}2*}^2} = \sqrt{0,33^2 + 10,03^2} = 10,037;$$

- точка K_3 :

$$r_{\text{рез}3} = r_{\text{рез}2} + r_{\text{кл}1*} = 0,33 + 9,758 = 10,09;$$

$$x_{\text{рез}3*} = x_{\text{рез}2*} + x_{\text{кл}1*} = 10,03 + 2,484 = 12,516;$$

$$z_{\text{рез}3*} = \sqrt{r_{\text{рез}3*}^2 + x_{\text{рез}3*}^2} = \sqrt{10,09^2 + 12,516^2} = 16,076;$$

- точка K_7 :

$$r_{\text{рез}7*} = r_{\text{рез}3*} + r_{\text{кл}9*} = 10,09 + 0,848 = 10,937;$$

$$x_{\text{рез}7*} = x_{\text{рез}3*} + x_{\text{кл}9} = 12,516 + 0,09 = 12,606;$$

$$z_{\text{рез}7*} = \sqrt{r_{\text{рез}7*}^2 + x_{\text{рез}7*}^2} = \sqrt{10,937^2 + 12,606^2} = 16,69;$$

- точка K_8 :

$$r_{\text{рез}8*} = r_{\text{рез}7*} + r_{\text{кл}11*} = 10,937 + 0,565 = 11,503;$$

$$x_{\text{рез}8*} = x_{\text{рез}7*} + x_{\text{кл}11*} = 12,606 + 0,06 = 12,667;$$

$$z_{\text{рез}8*} = \sqrt{r_{\text{рез}8*}^2 + x_{\text{рез}8*}^2} = \sqrt{11,503^2 + 12,667^2} = 17,11.$$

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

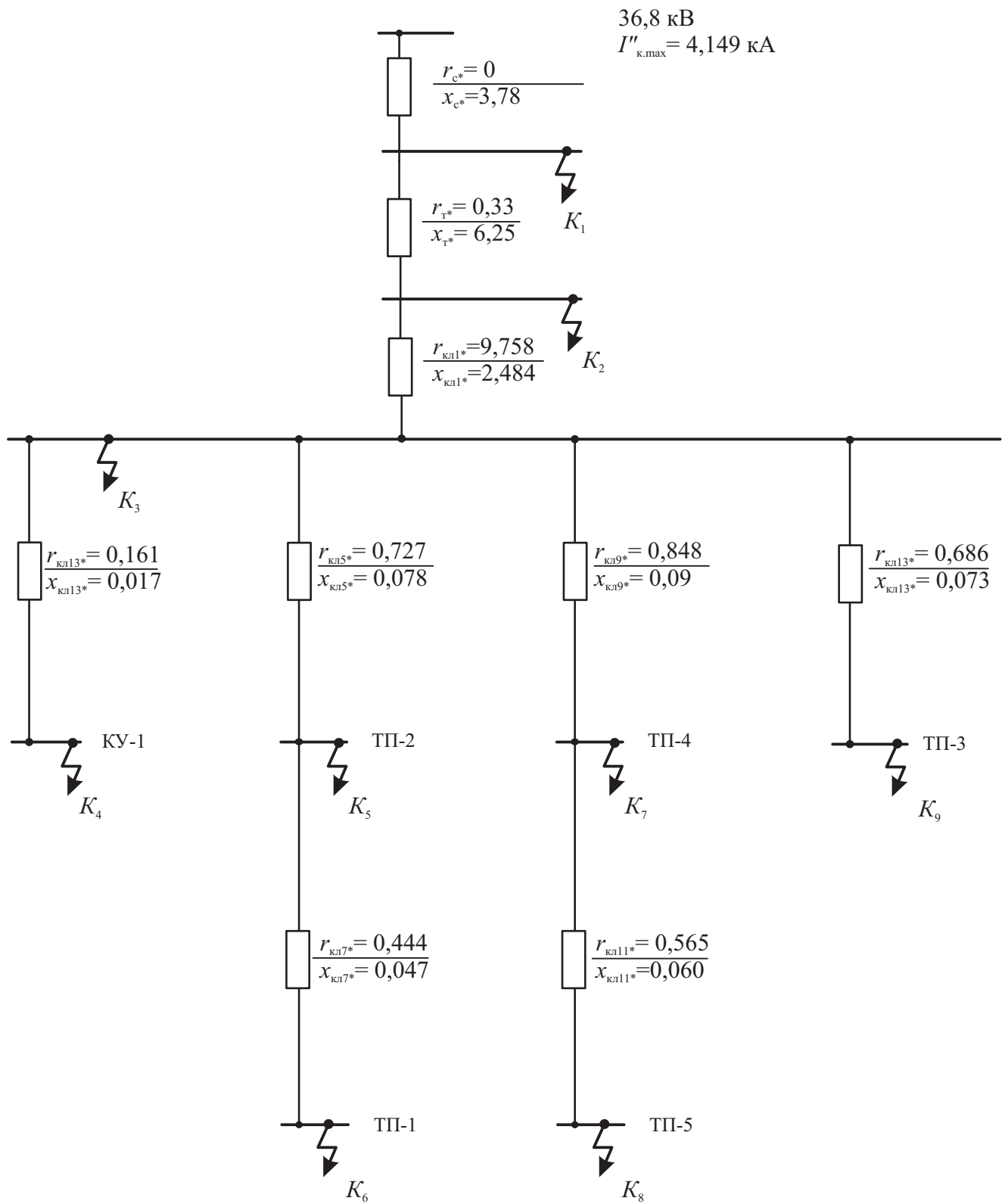


Рисунок 6.2 - Схема заміщення СЕП локомотивного депо

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

Ударні коефіцієнти:

$$k_{y2} = 1 + e^{(-0,01/T_{a2})} = 1 + e^{(-0,01/0,0962)} = 1,901;$$

$$k_{y3} = 1 + e^{(-0,01/T_{a3})} = 1 + e^{(-0,01/0,004)} = 1,08;$$

$$k_{y7} = 1 + e^{(-0,01/T_{a7})} = 1 + e^{(-0,01/0,0024)} = 1,016;$$

$$k_{y8} = 1 + e^{(-0,01/T_{a8})} = 1 + e^{(-0,01/0,0024)} = 1,014,$$

де T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ:

$$T_{a2} = \frac{x_{рез2}}{\omega \cdot r_{рез2}} = \frac{10,03}{314,16 \cdot 0,33} = 0,0962 \text{ с};$$

$$T_{a3} = \frac{x_{рез3}}{\omega \cdot r_{рез3}} = \frac{12,516}{314,16 \cdot 10,09} = 0,004 \text{ с};$$

$$T_{a7} = \frac{x_{рез7}}{\omega \cdot r_{рез7}} = \frac{12,606}{314,16 \cdot 10,937} = 0,0024 \text{ с};$$

$$T_{a8} = \frac{x_{рез8}}{\omega \cdot r_{рез8}} = \frac{12,667}{314,16 \cdot 11,503} = 0,0024 \text{ с};$$

Надперехідний струм, що створює енергосистема:

$$I_2'' = \frac{E_*'' \cdot I_{6.П}}{z_{рез2*}} = \frac{1 \cdot 55}{10,037} = 5,48 \text{ кА};$$

$$I_3'' = \frac{E_*'' \cdot I_{6.П}}{z_{рез3*}} = \frac{1 \cdot 55}{16,076} = 3,42 \text{ кА};$$

$$I_7'' = \frac{E_*'' \cdot I_{6.П}}{z_{рез7*}} = \frac{1 \cdot 55}{16,69} = 3,29 \text{ кА};$$

$$I_8'' = \frac{E_*'' \cdot I_{6.П}}{z_{рез8*}} = \frac{1 \cdot 55}{17,11} = 3,21 \text{ кА};$$

де E_*'' – надперехідна ЕРС, задаємось $E_*'' = 1$ згідно [7, 8].

Ударні струми, що створює енергосистема:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд2} \cdot I_2'' = \sqrt{2} \cdot 1,901 \cdot 5,48 = 14,73 \text{ кА};$$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot k_{уд7} \cdot I_3'' = \sqrt{2} \cdot 1,08 \cdot 3,42 = 5,22 \text{ кА};$$

$$i_{уд7} = \sqrt{2} \cdot k_{уд7} \cdot I_7'' = \sqrt{2} \cdot 1,016 \cdot 3,29 = 4,73 \text{ кА};$$

$$i_{уд8} = \sqrt{2} \cdot k_{уд8} \cdot I_8'' = \sqrt{2} \cdot 1,014 \cdot 3,21 = 4,61 \text{ кА};$$

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

Таблиця 6.1 – Розрахунок струмів КЗ у мережі 10 кВ локомотивного депо

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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,149	
K_2	-	-	-	-	-	0,33	10,03	10,037	0,0962	1,901	5,48	14,73
K_3	0,326	0,083	3,300	9,758	2,484	10,090	12,516	16,076	0,0040	1,080	3,42	5,22
K_4	0,89	0,095	0,020	0,161	0,017	10,251	12,533	16,191	0,0025	1,017	3,40	4,89
K_5	0,89	0,095	0,090	0,727	0,078	10,816	12,593	16,601	0,0024	1,016	3,31	4,76
K_6	0,89	0,095	0,055	0,444	0,047	11,260	12,641	16,929	0,0024	1,015	3,25	4,66
K_7	0,89	0,095	0,105	0,848	0,090	10,937	12,606	16,690	0,0024	1,016	3,29	4,73
K_8	0,89	0,095	0,070	0,565	0,060	11,503	12,667	17,110	0,0024	1,014	3,21	4,61
K_9	0,89	0,095	0,085	0,686	0,073	10,776	12,589	16,571	0,0024	1,016	3,32	4,77

6.2 Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Проведемо вибір КЛ1, 2 по яких отримує живлення ЦРУ локомотивного депо.

Розрахункові струми в КЛ1 (КЛ2)

- нормальний режим

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_m} = \frac{3843,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 105,7 \text{ А};$$

- післяаварійний режим:

$$I_{п.ав} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_m} = \frac{3843,8}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 211,4 \text{ А};$$

де U_m – напруга мережі в максимальному режимі роботи енергосистеми, кВ;

n – кількість ліній кабелів, шт.

З каталогу приймаємо до попереднього розгляду кабель марки ААБ2Л-(3х95) з $I_{доп} = 192 \text{ А}$.

Перевіряємо вибраний кабель за умовами:

- допустимого струмового навантаження:

$$I_p \leq I'_{доп} = k_n \cdot I_{доп};$$

$$105,7 \leq 0,92 \cdot 192 = 176,6 \text{ А};$$

- роботи в післяаварійному режимі:

$$I_{п.ав} \leq k_{п} \cdot k_{ав} \cdot I_{доп};$$

$$211,4 < 0,92 \cdot 1,25 \cdot 192 = 220,8 \text{ А};$$

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

де $k_{\text{п}}$ – уточнюючий коефіцієнт, що враховую сумісний нагрів 2-х кабелів, які прокладені поряд в одній траншеї, приймаємо згідно [1];

$k_{\text{ав}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження кабелю відносно номінального на період ліквідації аварії до 6 год, приймаємо 1,25 згідно [1], за умови, що коефіцієнт завантаження кабелю було не більше 0,6:

$$k_3 = I_p / I'_{\text{доп}} = 105,6 / 176,6 = 0,597 < 0,6.$$

Найменший допустимий переріз кабелів КЛ1 (КЛ2), що забезпечує їх термічну стійкість:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \cdot \sqrt{64,2} \cdot 1000 = 85,2 \text{ мм}^2;$$

де B_{κ} – термічний імпульс

$$B_{\kappa} = I''^2 (t_{\text{вим}} + T_a) = 5,48^2 \cdot (2,042 + 0,0962) = 64,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$t_{\text{вим}}$ – повний час вимкнення вимикача

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

$t_{\text{в.ч.в}}$ – власний час вимкнення вимикача, приймаємо 42 мс згідно [4];

$t_{\text{рз.макс}}$ – максимальний час дії релейного захисту, з урахуванням ступеня селективності 0,5 с для вимикача лінійної шафи РЗУ ПС енергосистеми складає 2,0 с.

Попередньо вибраний кабель ААБ2л-(3х95) задовольняє всім вимогам, тому кабельні лінії КЛ1 (К2) виконуємо ним.

У розділі 3 кваліфікаційної роботи (див. табл. 3.2) було проведено попередній вибір типів оболонок та перерізів КЛ, що забезпечують живлення цехових трансформаторних підстанцій. Цей вибір ґрунтувався на розрахунках допустимих струмових навантажень для кабелів у нормальному та після аварійному режимах роботи.

Визначимо найменший допустимий переріз кабелів, що підключені до ЦРУ локомотивного депо, що забезпечує їх термічну стійкість:

$$F_{\text{min}} = \frac{1}{C} \sqrt{B_{\kappa}} = \frac{1}{94} \cdot \sqrt{6,4} \cdot 1000 = 26,9 ;$$

$$B_{\kappa} = I''^2 (t_{\text{вим}} + T_a) = 3,42^2 \cdot (0,542 + 0,004) = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Отже, переріз КЛ що підключаються ЦРУ повинен бути не менше 35 мм².

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

6.3 Вибір високовольного електрообладнання

6.3.1 Вибір високовольних вимикачів

Для підключення КЛ-1 і КЛ-2 до ЦРУ 10 кВ ПС енергосистеми попередньо приймаємо до розгляду високовольні вимикачі ВР1-10-20/630У2.

Для підтвердження правильності попереднього вибору вимикачів ВР1-10-20/630У2 проводимо їх перевірку за такими критеріями [4]:

- напругою електроустановки

$$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ} = U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ};$$

- струмом у нормальному режимі роботи:

$$I_p = 105,7 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 630 \text{ А},$$

де $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм високовольного вимикача, А;

- струмом у післяаварійному режимі роботи КЛ1 (КЛ-2)

$$I_{\text{п.ав}} = 211,4 \text{ А} < I_{\text{ном}} = 630 \text{ А};$$

- здатністю вимикати симетричний струм вимикання:

$$I_{\text{пт}} \approx I'' = 5,48 \text{ кА} < I_{\text{вим.ном}} = 20 \text{ кА};$$

де $I_{\text{вим.ном}}$ – номінальний струм вимикання вимикача, кА;

- здатністю вимикати аперіодичну складову струму КЗ:

$$i_{\text{ат}} = 4,51 \text{ кА} < i_{\text{а.ном}} = 8,5 \text{ кА},$$

де $i_{\text{ат}}$ – аперіодична складова струму короткого замикання для часу τ

$$i_{\text{а.т}} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot e^{-\tau/T_a} = \sqrt{2} \cdot 5,48 \cdot e^{-0,052/0,0962} = 4,51 \text{ кА};$$

де τ – найменший час, необхідний для роз'єднання дугогасних контактів вимикача після виникнення короткого замикання:

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

$t_{\text{рз.мін}}$ – найменший час дії релейного захисту (РЗ), с;

$i_{\text{а.ном}}$ – номінальне значення аперіодичної складової струму КЗ вимикача

$$i_{\text{а.ном}} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{\text{ном}} \cdot I_{\text{вим.ном}}}{100} = \frac{\sqrt{2} \cdot 33 \cdot 20}{100} = 8,5 \text{ кА};$$

$\beta_{\text{ном}}$ – нормований вміст аперіодичної складової в струмі, що вимикається, %, визначаємо за рис. 4.3 [4];

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

- електродинамічною стійкістю:

а) для найбільшого діючого значення

$$I'' = 5,48 \text{ кА} < I_{п.0} = 20 \text{ кА};$$

де $I_{п.0}$ – початкове діюче значення періодичної складової струму короткого замикання, кА;

б) для найбільшого миттєвого значення

$$i_{уд} = 14,73 \text{ кА} < i_{дин} = 52 \text{ кА},$$

$i_{дин}$ – найбільш пік наскрізного струму короткого замикання, кА;

- тепловою стійкістю:

$$B_k = 64,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} < I_{тер.ном}^2 \cdot t_{тер.ном} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

B_k – термічний імпульс, що одержує вимикач під час протікання струму КЗ

$$B_k = I''^2 (t_{вим} + T_a) = 5,48^2 \cdot (2,042 + 0,0962) = 64,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

$I_{тер.ном}$ – струм термічної стійкості вимикача для проміжку часу $t_{тер.ном} = 3 \text{ с}$, кА.

Отже, проведена перевірка показала, що попередньо обраний вимикач ВР1-10-20/630У2 повністю задовольняє всім умовам та вимогам експлуатації. Вибір високовольтних вимикачів для інших споживачів не проводиться з кількох причин. По-перше, струми навантаження інших вимикачів будуть нижчими за струм ввідного вимикача, тобто менш навантаженими. По-друге, вимикач серії ВР1 є початковою та базовою моделлю в каталозі виробника.

Таким чином, задля уніфікації обладнання одного типу, вимикач ВР1-10-20/630У2 буде встановлений у ввідних, секційній і лінійних шафах 10 кВ ЦРУ локомотивного депо.

6.3.2 Вибір вимикачів навантаження

Умови вибору вимикачів навантаження в цілому подібні до умов вибору високовольтних вимикачів, проте є одна відмінність при перевірці за струмом відключення. Для вимикачів навантаження розрахунковим струмом відключення є не струм КЗ, а струм форсованого режиму роботи [4, 5].

На попередньому етапі вибору приймаємо вимикач ВНРп-10/400-10зУЗ. Деталі вибору вимикача навантаження, зокрема для трансформаторної підстанції ТП-1, наведено в табл. 6.2.

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

Таблиця 6.2 – Вибір вимикача навантаження

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{дій}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_p = 23,7 \text{ А}$	$I_{\text{вим.ном}} = 400 \text{ А}$
$I_{\text{макс}} = 47,4 \text{ А}$	$I_{\text{макс}} = 800 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 5,22 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.н}} = 25, \text{ кА}$
$B_k = 0,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{н.т}}^2 \cdot t_{\text{т.н}} = 10^2 \cdot 1 = 100 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

де I_p – розрахунковий струм у КЛ-3, КЛ-4, А;

$I_{\text{ав}}$ – післяаварійний струм у КЛ-3 (КЛ-4), А;

$I_{\text{вим.ном}}$ – номінальний струм вимикання вимикача навантаження А;

$I_{\text{макс}}$ – найбільший струм вимикання вимикача навантаження, А;

$t_{\text{вим}}$ – середня тривалість спрацювання плавкої вставки запобіжника, приймаємо рівною 0,008 с згідно [4];

B_k – термічний імпульс

$$B_k = I''^2 (t_{\text{вим}} + T_a) = 3,25^2 \cdot (0,008 + 0,0024) = 0,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Отже, проведена перевірка показала, що попередньо вибраний вимикач навантаження ВНРп-10/400-10зУЗ повністю задовольняє всім умовам, тому приймаємо його до встановлення.

6.3.3 Вибір високовольтних запобіжників

Вибір запобіжників здійснюється за такими критеріями: конструктивне виконання, номінальні значення напруги та струму, гранично допустимий струм вимикання та вид встановлення.

Попередньо приймаємо до розгляду запобіжник для силових трансформаторів ПКТ-102-10-50-12,5УЗ з номінальними струмами патрона $I_{\text{п.ном}}$ плавкої вставки $I_{\text{пв.ном}}$ рівними 50 А.

Вибір запобіжника представлено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Вибір високовольтного запобіжника

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{дій}} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{\text{макс}} = 12 \text{ кВ}$
$I_{\text{р.т-1}} = 24, \text{ А}$	$I_{\text{п.ном}} = 50 \text{ А}$
$I_{\text{п.ав.т-1}} = 48,8 \text{ А}$	$I_{\text{пв.ном}} = 50 \text{ А}$
$I'' = 3,25 \text{ кА}$	$I_{\text{вим.ном}} = 12,5 \text{ кА}$
Внутрішнє встановлення	Внутрішнє встановлення

де $I_{p.T-1}$ розрахунковий струм трансформатора Т-1 (Т-2) ТП-1:

- нормальний режим роботи:

$$I_{p.T-1} = \frac{S_{p.ТП-1}}{n\sqrt{3}U_M} = \frac{886,4}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 24,4 \text{ А};$$

- післяаварійний режим роботи (Т-2 вийшов з ладу):

$$I_{p.п.ав.Т-1} = 2I_{p.T-1} = 2 \cdot 24,4 = 48,8 \text{ А};$$

де $S_{p.ТП-1}$ – розрахункова потужність ТП-1, кВ·А.

Таким чином, попередньо обраний запобіжник ПКТ-102-10-50-12,5УЗ відповідає всім вимогам, тому приймаємо його до встановлення.

6.3.4 Вибір трансформаторів власних потреб

Власні потреби ЦРУ 10 кВ локомотивного депо є одними з найбільш відповідальних споживачів, оскільки від їх безперебійної роботи залежить нормальне функціонування всього ЦРУ та, як наслідок, надійність електропостачання всього депо. Споживачі власних потреб мають незначну потужність, тому їх підключають до мережі 220/380 В, яку живлять від понижувальних трансформаторів власних потреб (ТВП).

У табл. 6.4 наведено розрахунок навантаження на ТВП ЦРУ. Вибір потужності цих трансформаторів здійснюють на основі розрахункового навантаження з урахуванням коефіцієнту попиту.

Розрахункове навантаження по ЦРУ депо на ТВП складе:

$$S_p = k_{п} \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = 0,8 \cdot \sqrt{41,0^2 + 0^2} = 32,8 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

де $k_{п}$ – коефіцієнт попиту, приймаємо 0,8 згідно рекомендацій [4].

Таблиця 6.4 – Розрахунок навантаження власних потреб ЦРУ депо

Вид споживача	Установлена потужність, кВт		cosφ	Навантаження	
	одиниці	сумарна		P_y , кВт	Q_y , квар
Обігрів шаф КРУ 10 кВ	1 x 16	16	1,0	16	0,0
Обігрів шаф РЗА	1 x16	16	1,0	16	0,0
Системи опалення, освітлення та вентиляції ЗРУ 10 кВ	-	7	1,0	7	0,0
Споживання оперколами РЗА	-	2	1,0	2,0	0,0
Всього				41	0

Враховуючи, що в ЦРУ 10 кВ локомотивного депо встановлюються два ТПВ, і в ньому не передбачено постійного чергового персоналу, отримаємо:

$$S_{\text{т.ном}} = 40 > S_p = 32,8 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Отже, приймаємо до встановлення на ЦРУ два ТВП марки ТМ-40/10.

6.3.5 Вибір розрядників

Для захисту від внутрішніх перенапруг, що виникають внаслідок комутацій ненавантажених КЛ, трансформаторів, а також при дугових замиканнях на землю та феромагнітних резонансах у розподільних установках використовують розрядники. Розрядники є важливим елементом захисту обладнання від перенапруг, що можуть призвести до його пошкодження та виходу з ладу.

Встановлення вентиляних розрядників здійснюється на вводах кожної секції шин центральної розподільної установки. Вентильні розрядники підключають до контуру заземлення найкоротшим шляхом для забезпечення ефективного відведення перенапруг.

Отже, для захисту ЦРУ локомотивного депо від внутрішніх перенапруг встановлюємо вентиляні розрядники типу РВО-10У1. Вони забезпечать надійний захист обладнання та безперебійну роботу установки.

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

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ. «РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ»

7.1 Цілі та задачі контролю та обліку енергоспоживання

Контроль та облік споживання енергоресурсів дозволяють досягти двох основних цілей, незалежно від використовуваних для цього технічних засобів:

- забезпечити точні розрахунки за енергоресурси відповідно до фактичного обсягу їх споживання;
- мінімізувати витрати на енергоресурси.

Головними задачами системи контролю й обліку електроспоживання є [9]:

1) точне вимірювання параметрів споживання електроенергії для забезпечення коректних розрахунків відповідно до реальних обсягів і мінімізації невиробничих витрат, зокрема шляхом використання точніших вимірювальних приладів або синхронізації збору первинних даних;

2) діагностика повноти даних для підвищення достовірності інформації, що використовується у фінансових розрахунках з постачальниками та споживачами, а також для прийняття управлінських рішень;

3) комплексний автоматизований комерційний і технічний облік електроспоживання по всьому депо та інфраструктурі згідно діючих тарифних систем для мінімізації виробничих і невиробничих витрат;

4) контроль електроспоживання за всіма точками та об'єктами обліку в заданих часових інтервалах відносно лімітів, режимних та технологічних обмежень для мінімізації витрат та забезпечення безпеки електропостачання;

5) фіксація та оцінка відхилень контрольованих параметрів для аналізу енергоспоживання і виробничих процесів та мінімізації витрат;

6) сигналізація про відхилення параметрів від допустимого діапазону для оперативного прийняття рішень з метою мінімізації виробничих витрат;

7) прогнозування значень величин енергообліку для планування енергоспоживання та мінімізації виробничих витрат;

8) автоматичне управління енергоспоживанням за заданими критеріями та схемами включення/відключення споживачів для мінімізації виробничих витрат та забезпечення якості управління;

9) підтримання єдиного системного часу для забезпечення синхронних вимірювань і мінімізації невиробничих витрат.

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

7.2 Вибір комплексної системи обліку та контролю електроспоживання

Структура побудови інформаційно-вимірювальної системи (ІОС) може базуватися або на використанні серійних лічильників електроенергії, що випускаються промисловістю, або ж на спеціально розроблених технічних засобах. Очевидно, що більш доцільним 1-й підхід – застосування серійних лічильників як вимірювальних перетворювачів для автоматизованої системи комерційного обліку електроспоживання (АСКОЕ). Виходячи з цього, розглянемо найбільш поширені структурні схеми АСКОЕ для промислових підприємств [9].

Структурна схема АСКОЕ з прямим зв'язком лічильників-датчиків (ЛД) з інформаційно-обчислювальним пристроєм (ІОП) зображена на рис. 7.1. У ній лічильники, об'єднуються за допомогою загальної шини RS-485 або інтерфейсу "струмова петля" або можуть бути підключені до мультиплексора (наприклад, типу МПР-16) чи інформаційно-обчислювального пристрою (ІОП) (наприклад, RTU-325 або NIK KC-03). Ці лічильники розміщуються в різних шафах розподільної установки та проходять опитування кілька разів на місяць за програмою на переносному комп'ютері, що створює файл результатів опитування.

У цій структурній схемі відсутній постійний зв'язок між лічильниками та центром збору даних, а інформаційно-обчислювальний пристрій служить комунікаційним сервером. На комп'ютері центру збору і обробки даних (ЦЗОД) встановлено спеціалізоване програмне забезпечення, яке формує файли завдань для опитування лічильників та завантажує отримані дані до основної бази даних.

Синхронізація часу лічильників відбувається під час опитування відповідно до часу переносного комп'ютера. Час переносного комп'ютера, в свою чергу, синхронізується з часом ЦЗД при отриманні файлів завдань для опитування лічильників. У такій конфігурації виділений комп'ютер для центру збору даних може бути відсутнім, і всі його функції може виконувати переносний комп'ютер.

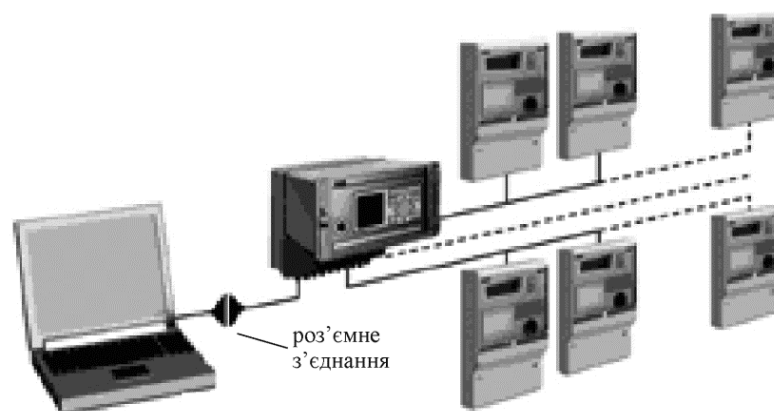


Рисунок 7.1 – Структурна схема АСКОЕ з безпосереднім зв'язком ЛД з ІОП

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

Структурна схема АСКОЕ з локальним центром збору та обробки даних зображена на рис. 7.2 За такої конфігурації схеми лічильники мають постійний зв'язок з ЦЗОД через прямі канали зв'язку та проходять опитування згідно заданого розкладу. Первинні дані з лічильників записуються до бази даних. Синхронізація часу лічильників з часом комп'ютера ЦЗОД відбувається під час їх опитування. У якості комп'ютера центру збору даних використовується локальний персональний комп'ютер. Саме на ньому здійснюється обробка даних і ведення бази даних. У залежності від кількості користувачів, кількості підключених лічильників, інтервалів їх опитування, складності математичної обробки та інших параметрів, локальна база даних може функціонувати під управлінням MS Access або під системою управління базами даних ORACLE Linux.

Збір даних до бази даних відбувається періодично із заздалегідь заданими інтервалами. Організація автоматизованої системи комерційного обліку енергоресурсів з проведенням автоматичного опитування лічильників локальним ЦЗОД дає змогу вирішувати наступні задачі:

- точне вимірювання параметрів енергоспоживання;
- комплексний автоматизований комерційний і технічний облік енергоресурсів по всьому підприємству та його інфраструктурним підрозділам;
- контроль енергоспоживання та параметрів якості електроенергії в точках обліку в заданих часових інтервалах відносно встановлених лімітів і технологічних обмежень активної потужності;
- обробка даних і генерація звітів з обліку електроенергії та контролю показників якості електроенергії;
- фіксація та оцінка відхилень контрольованих параметрів електроенергії для аналізу енергоспоживання та виробничих процесів;
- сигналізація про вихід контрольованих величин із допустимого діапазону значень;

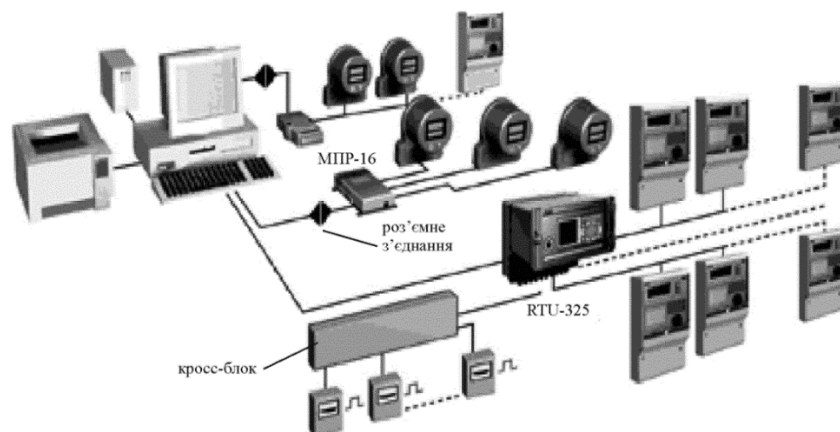


Рисунок 7.2 – Структурна схема АСКОЕ з ЦЗОД

- діагностування повноти даних і стану системи;
- параметризація комунікацій і характеристик опитування;
- підтримка єдиного системного часу.

Під час розробки АСКОЕ для СЕП локомотивного депо було враховано, що кабельні лінії КЛ-1, КЛ-2 не належать енергосистемі, відповідно до пункту 1.5.9 нормативного документа [1], розрахункові лічильники активної та реактивної електроенергії необхідно встановити на живлячій підстанції ПС ЕПК – у точці приєднання цих ліній.

Ядром розроблюваної АСКОЕ є інформаційно-обчислювальний пристрій ІОП) RTU-325L, призначений для комерційного обліку споживання (видачі) електричної енергії та потужності за фіксовані інтервали часу (з урахуванням багатотарифності), технічного обліку та моніторингу заданих навантажень у режимі реального часу. Цей пристрій забезпечує:

- збір, обробку, накопичення, зберігання та відображення даних від лічильників електроенергії;
- об'єднання результатів вимірювань, що отримані з лічильників у єдині групові вимірювання, відповідно до конкретних умов об'єкта обліку;
- вимірювання електроенергії відповідно до заданих тарифних планів на заданому часовому інтервалі;
- вимірювання середніх потужностей на 2-х заданих часових інтервалах усереднення;
- пошук максимальних потужностей на заданих часових інтервалах;
- підтримання єдиного системного часу;
- відображення показів електrolічильника щодо вимірюваної енергії;
- передачу інформації від RTU через фізичну лінію, комутований або виділений телефонний канал до ЦЗОД;
- захист вимірювальної інформації та метрологічних характеристик АСКОЕ від несанкціонованого доступу та зміни;
- контроль працездатності інформаційно-вимірювальної системи.

АСКОЕ центральної розподільної установки 10 кВ локомотивного депо виконується за структурною схемою по рис. 7.2 і містить:

- пристрій збору та передавання даних RTU-325L;
- мультиплексор АBB МПР16-2М;
- персональні комп'ютери типу IBM PC;
- лічильники «АЛЬФА»: А18-05-RAL-P4-G-3 (комерційний облік);
- лічильник НІК 2303-АРТ1-0100 (технічний облік на стороні 10 кВ);
- лічильник НІК 2303-АРП2-0100 (технічний облік на стороні 0,4 кВ);

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

- промисловими gsm-модемами WLINK WL-D80-1-2 RS232.

Для комерційного обліку електроенергії передбачено встановлення лічильників "Альфа". Їх призначення:

- облік активної та реактивної енергії в колах змінного струму;
- зберігання даних про споживання/видачу енергії;
- вимірювання з нормованою похибкою параметрів мережі;
- передача виміряних або обчислених параметрів при використанні в складі АСКОЕ на диспетчерський пункт для контролю, обліку електроенергії.

Ці багатофункціональні лічильники забезпечують необхідну точність комерційного обліку та інтеграцію з автоматизованими системами моніторингу і управління енергоспоживанням.

Для побудови автоматизованих систем комерційного обліку енергоресурсів на базі лічильників «АЛЬФА» можуть використовуватись різні типи інтерфейсів: цифрові інтерфейси RS232 або RS485, а також інтерфейс "струмова петля" (ІРПС). Застосування цифрових інтерфейсів дозволяє повніше використовувати функціональні можливості лічильника та підвищити достовірність переданої чи отриманої інформації. Це забезпечується завдяки протоколу обміну лічильника «АЛЬФА», який передбачає видачу підтвердження про цілісність прийнятих / переданих даних. Така особливість уможливорює створення надійних систем АСКОЕ, де лічильник «АЛЬФА» є одним з ключових елементів.

Використання цифрових інтерфейсів не лише розширює функціональність, але й підвищує цілісність та достовірність даних, що передаються до системи комерційного обліку енергоресурсів.

Лічильник «АЛЬФА» забезпечує одночасне високоточне вимірювання активної та реактивної енергії та максимальної потужності в класі точності 0,5 при напрузі 100 В у режимі трансформаторного включення (трипровідна лінія) за номінального струму 5 А.

Функціональність лічильника може бути розширена шляхом встановлення додаткових плат, що дозволяють:

- вимірювати потоки активної, реактивної енергії та максимальної потужності в обох напрямках;
- записувати та зберігати графіки електроспоживання;
- інтегрувати лічильники до складу АСКОЕ.

Така гнучкість у розширенні функцій в поєднанні з високою точністю вимірювань робить даний лічильник ефективним рішенням для створення сучасних автоматизованих систем комерційного обліку енергоресурсів.

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

7.3 Вибір електричних схем підключення пристроїв збору і передачі даних та лічильників

Живлення пристроїв збору та передачі даних від мережі змінного струму 220В здійснюється за допомогою імпульсних блоків живлення, наприклад, TSP 090-124 або TXL 035-24S (виробник компанія TRACO POWER) згідно зі схемою, зображеною на рис. 7.3. До портів RS-232 пристрої збору та передачі даних підключаються за допомогою екранованого кабелю, наприклад, Belden 9842 або аналогічного. Під'єднання цих пристроїв до мережі Ethernet здійснюється за допомогою екранованого кабелю FTP (SFTP) 4x2x24AWG cat 5e. При під'єднанні до пристроїв збору і передачі даних довгих (більше 15 м) ліній зв'язку необхідно використовувати пристрої захисту від перенапруги для інтерфейсів RS-485 та Ethernet.

Під'єднання пристроїв збору і передачі даних до приймача GPS/ГЛОНАСС, наприклад, Garmin GPS-16HVS виконується за схемою поданою на рис. 7.4.

Лічильники комерційного обліку «АЛЬФА» підключаються до пристрою збору та передачі даних через двопровідний інтерфейс RS-485.

Обов'язковою умовою надійної роботи пристрою збору та передачі даних є його заземлення проводом перерізом не менше 1,5 мм².

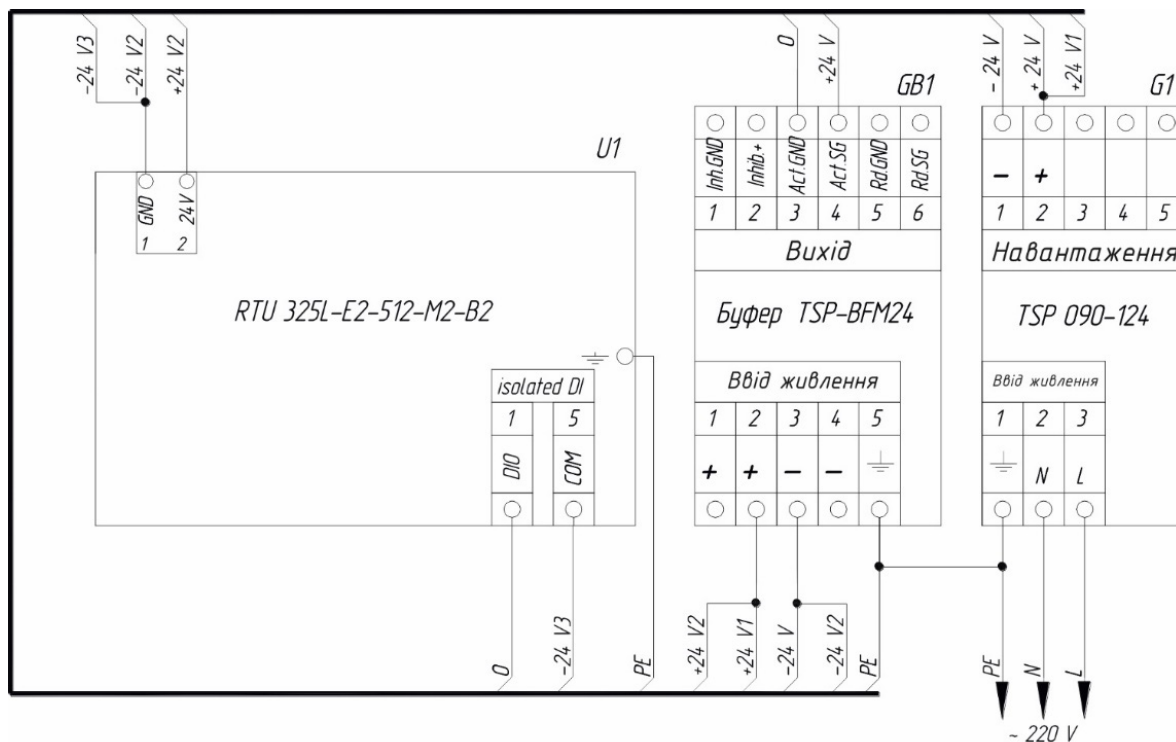


Рисунок 7.3 – Схема підключення пристроїв збору і передачі даних RTU-325L

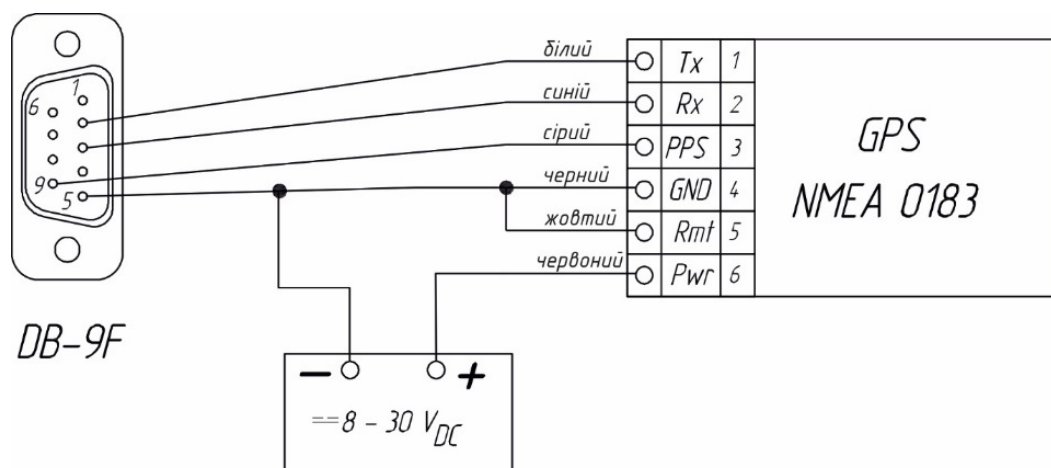


Рисунок 7.4 – Схема підключення приймача Garmin GPS-16HVS до пристрою збору і передачі даних за допомогою виходу PPS

У трифазну трипровідну мережу електролічильники A18-05-RAL-P4-G-3 підключаються за допомогою трансформаторів струму та напруги (трансформаторна схема). Схема якої представлена на рис. 7.5. Трансформатори струму встановлюються лише у фазах А та С, так як мережі 10 кВ працюють з ізольованою нейтраллю.

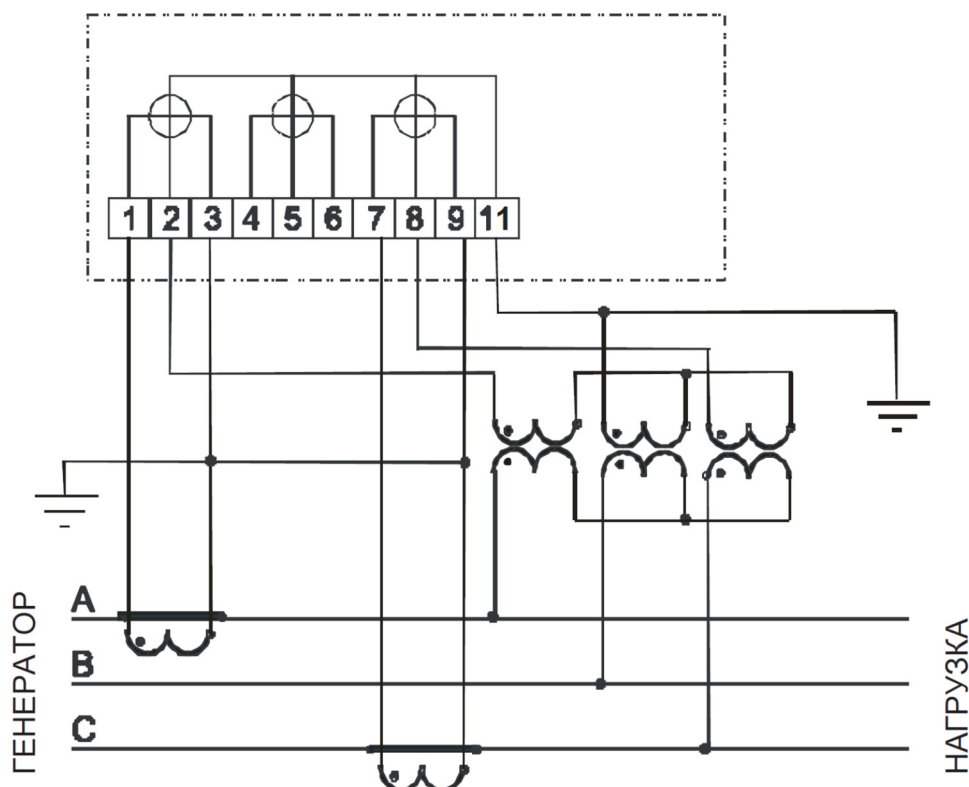


Рисунок 7.5 – Схема підключення лічильника A18-05-RAL-P4-G-3 в трифазну трипровідну мережу за трансформаторною схемою

Схеми підключення універсальних лічильників НІК 2303 у трифазну три/чотирипровідну мережу з трансформаторами напруги та без них зображені, відповідно, на рис. 7.6 та 7.7.

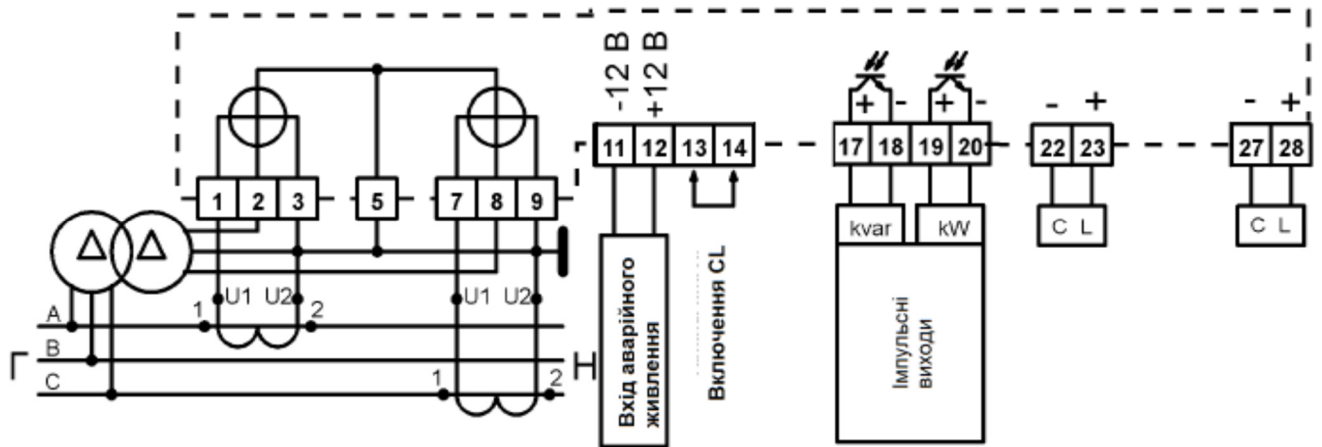


Рисунок 7.6 – Схема підключення лічильників НІК 2303 ART.1500.15 у трифазну трипровідну мережу

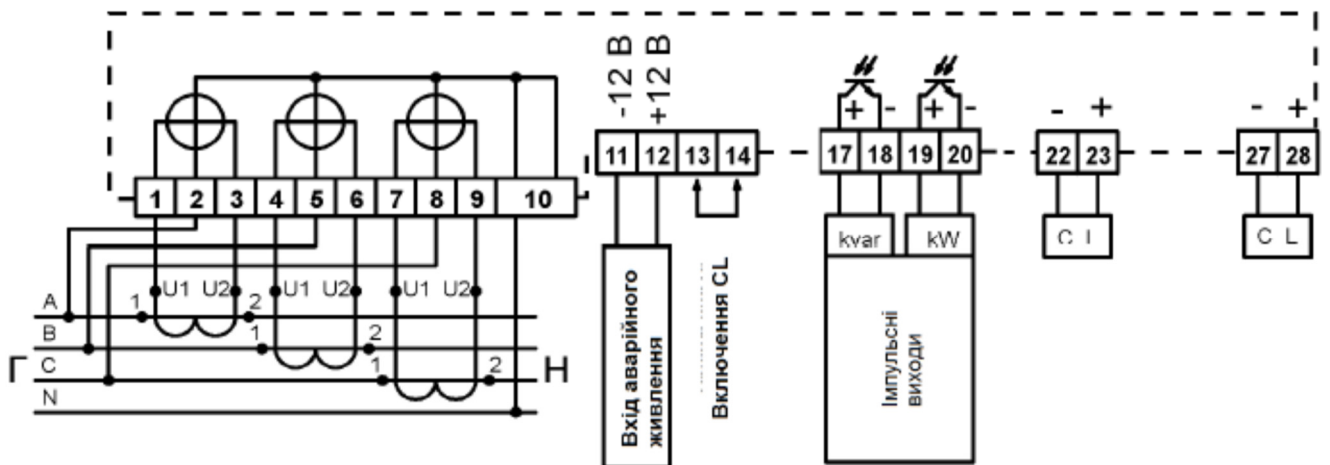


Рисунок 7.7 – Схема підключення лічильників НІК 2303-АРП2-0100 у трифазну чотирипровідну мережу

7.4 Вибір вимірювальних трансформаторів

7.4.1 Вибір трансформаторів струму

Розглянемо детально вибір трансформаторів струму (ТС) лінійної шафи ЗРУ 10 кВ ПС ЕПК, до яких підключені КЛ1, КЛ2.

Попередньо вибираємо до розгляду ТС ТЛК-10-3-300/5. Результати перевірки правильності вибору представлені в табл. 7.1.

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

Таблиця 7.1 – Вибір трансформатора струму ТЛК-10-3-300/5

Розрахункові дані	Умова вибору	Каталожні дані
$U_{уст} = 10,5 \text{ кВ}$	$U_{уст} < U_{ном}$	$U_{ном} = 12,0 \text{ кВ}$
$I_p = 108,9 \text{ А}$	$I_p < I_{ном}$	$I_{ном} = 300 \text{ А}$
$I_{р.п.ав} = 217,8 \text{ А}$	$I_{р.п.ав} < I_{ном}$	$I_{ном} = 300 \text{ А}$
Клас точності 0,5	$0,5 = 0,5$	0,5
$i_y = 14,73 \text{ кА}$	$i_y < i_{дин}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$
$B_{к.р} = 64,2 \text{ кА}$	$B_{к.р} < B_k$	$B_k = I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 31,5^2 \cdot 1 = 992 \text{ кА}$
$Z_{2.д} = 0,125 \text{ Ом}$	$Z_{2.д} < Z_{2.ном}$	$Z_{2.ном} = 0,4 \text{ Ом}$

де I_p – розрахунковий струм КЛ-1, 2 у нормальному режимі роботи з урахуванням втрат потужності:

$$I_p = \frac{S_p + \Delta p_{кл} \cdot l \cdot k_3^2}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3843,8 + 50 \cdot 6,6 \cdot 0,6^2}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 108,9 \text{ А};$$

Попередньо, опір з'єднувальних проводів:

$$r'_{пров} = Z_{2ном} - r_{прил} - r_{кон} = 0,4 - 0,012 - 0,05 = 0,338 \text{ Ом};$$

де $r_{прил}$ – опір приладів, що підключаються до трансформатора струму:

$$r_{прил} = S_{прил} / I_2^2 = 0,3 / 5^2 = 0,012 \text{ Ом};$$

де $r_{кон}$ – опір контактних з'єднань у колі II-ї обмотки ТС, приймаємо 0,05 Ом [5];

$S_{прил}$ – повна потужність, що споживають підключені до ТС прилади, В·А.

$Z_{2ном}$ – номінальне вторинне навантаження трансформатора струму, Ом.

Перелік приладів для лінійної шафи ПС ЕПК і розрахунок споживаної ними потужності представлено в табл. 7.2.

На основі $r'_{пров}$ визначаємо необхідний переріз з'єднувальних проводів у колі II-ї обмотки трансформатора струму:

$$S_{пров} = \frac{\rho \cdot l}{r'_{пров}} = \frac{0,0175 \cdot 9}{0,338} = 0,47 \text{ мм}^2;$$

де ρ – питомий опір міді, Ом/м·мм²;

l – довжина з'єднувальних проводів [4]:

$$l = \sqrt{3} \cdot k_{п} \cdot l_p = \sqrt{3} \cdot 0,85 \cdot 6 = 9 \text{ м};$$

де $k_{п}$ – уточнюючий коефіцієнт, для шаф РУ 10 кВ лежить в межах 0,8-0,85;

l_p – розрахункова довжина з'єднувальних проводів.

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

Таблиця 7.2 – Вторинне навантаження трансформатора струму

Прилад	Тип	Навантаження фази, В·А		
		А	В	С
Лічильник універсальний	A18-05-RAL-P4-G-3	0,2	-	0,2
Амперметр	A-96-6	0,1	-	0,1
Всього		0,3	-	0,3

За умовою механічної міцності відповідно до ПУЕ приймаємо мінімальний переріз мідного проводу 2,5 мм².

Тоді реальний опір мідних з'єднувальних проводів складе:

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{роз}}}{S_{\text{мін}}} = \frac{0,0175 \cdot 9}{2,5} = 0,06 \text{ Ом.}$$

Дійсне вторинне навантаження трансформатора струму:

$$Z_{2,д} = r_{\text{пров}} + r_{\text{прил}} + r_{\text{кон}} = 0,063 + 0,012 + 0,05 = 0,125 \text{ Ом.}$$

Отже, згідно умов вибору наведених у табл. 7.1 попередньо вибраний трансформатор струму ТЛК-10-3/300У2 приймаємо до установки.

У ввідних і кожній лінійній шафі ЦРУ 10 кВ локомотивного депо з метою організації технічного обліку встановлюється лічильник електричної енергії та амперметр. Тоді навантаження ТС, що встановлені в фазі А та С складе

$$r_{\text{прил}} = S_{\text{прил}\Sigma} / I_2^2 = (0,1 + 0,05) / 5^2 = 0,006 \text{ Ом;}$$

де $S_{\text{прил}\Sigma}$ – сумарна повна споживана потужність приладами

$$S_{\text{прил}\Sigma} = S_{\text{ліч}} + S_{\text{амп}} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ В·А;}$$

$S_{\text{ліч}}$, $S_{\text{амп}}$ – потужність споживана, відповідно лічильником NIK-2303-ART.0200.0.11 і амперметром А-96-6, В·А.

Розрахунок вторинного навантаження та вибір ТС інших приєднань аналогічний представленому вище, тому виконаний у вигляді табл. 7.4, 7.5.

Таблиця 7.4 – Вторинне навантаження ТС

Призначення ТС	$r_{\text{прил}}$, Ом	$r'_{\text{пров}}$, Ом	S , мм ²	$l_{\text{роз}}$, м	$r_{\text{пров}}$, Ом	$Z_{2р}$, Ом
Ввідна шафа ЦРУ, СВ	0,006	0,344	2,5	10,4	0,073	0,129
КЛ 3, 4, 7-10, 13, 14	0,006	0,344	2,5	9,0	0,063	0,119

Таблиця 7.5 – Вибір трансформаторів струму

Умова вибору	Од. вим.	Призначення ТС			
		Ввід ЦРУ	СВ	КЛ 3, 4, 9, 10	КЛ-7, 8, 13, 14
$U_{уст} < U_{max}$	кВ	$10,5 < 12$	$10,5 < 12$	$10,5 < 12$	$10,5 < 12$
$I_p < I_{ном}$	А	$105,6 < 300$	$105,6 < 200$	$47,6 < 100$	$24,3 < 50$
$I_{ав} < I_{ном}$	А	$211,3 < 300$	$105,6 < 200$	$95,1 < 100$	$48,6 < 50$
Клас точності	-	0,5	0,5	0,5	0,5
$i_{уд} < i_{дин}$	кА	$5,22 < 52$	$5,22 < 52$	$5,22 < 52$	$5,22 < 25$
$B_{к.р} < B_{к.н}$	кА ² ·с	$64,2 < 31,5^2 \cdot 3 = 992$	$34,16 < 10^2 \cdot 3 = 300$	$6,4 < 10^2 \cdot 3 = 300$	$6,4 < 4^2 \cdot 3 = 48$
$Z_2 < Z_n$	Ом	$0,129 < 0,4$	$0,119 < 0,4$	$0,119 < 0,4$	$0,119 < 0,4$
Тип ТС		ТЛК-10-3-300/5	ТЛК-10-3-200/5	ТЛК-10-3-100/5	ТЛК-10-3-50/5

7.4.2 Вибір трансформаторів напруги

Перелік необхідних приладів для встановлення на одній системі шин прийнято згідно [4]. ЦРУ локомотивного депо споруджується на онові шаф серії КУ-10Ц, тому попередньо приймаємо до розгляду трансформатор напруги (ТН) НАМИ-10-66УЗ. Розрахунок його вторинного навантаження наведено в табл. 7.6, а вибір – у табл. 7.6.

Таблиця 7.6 – Вибір трансформатора напруги

Умова вибору	Од. вим.	Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{уст} \leq U_{ном}$	кВ	$U_{уст} = 10$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ
Схема з'єднання:	-	$Y_0/Y_0/\Delta-0$	$Y_0/Y_0/\Delta-0$
Клас точності:	-	0,5	0,5
$S_p \leq S_{ном}$	В·А	$S_p = 52$	$S_{ном} = 120$

Таблиця 7.7 – Вторинне навантаження ТН

Прилад	Тип	S , В·А	Кількість приладів, шт.	Загальна споживана потужність, В·А
Лічильник універсальний	НИК-2303-ART.0200.0.11	10	5	50
Вольтметр	В-96-6	2	1	2
Всього				52

Отже, попередньо обраний ТН задовольняє всім умовам вибору, тому приймаємо його до встановлення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній роботі спроектовано систему електропостачання локомотивного депо.

Електричні навантаження по окремих цехах і депо в цілому, розраховано за методом впорядкованих діаграм. На шинах 10 кВ ЦРУ депо рівні розрахункового навантаження склали, відповідно 3,8 МВт і 4,0 Мвар.

Графіки електричних навантажень побудовано на базі типових, причому рік розділявся на зимовий та літній періоди, з урахуванням робочих і вихідних днів обох періодів.

При виборі варіантів схеми внутрішнього електропостачання депо було розглянуто наступні:

1) електропостачання виконується за радіальною схемою розподілу електроенергії від ЦРУ 10 кВ, що споруджується на території депо із глухим приєднанням кабельних ліній до трансформаторів цехових підстанцій;

2) електропостачання виконується за змішана схема розподілу електроенергії від ЦРУ 10 кВ, що споруджується на території депо. При цьому трансформатори ТП-1, ТП-2, ТП-4, ТП-5 приєднуються до КЛ через запобіжник і вимикач навантаження, а трансформатори ТП-3 мають глухе приєднання.

За результатами техніко-економічних розрахунків був прийнятий вар. №2.

Аналіз балансу реактивної потужності показав, що доцільно використовувати конденсаторні установки номінальною напругою 10 кВ марки УКРМ-10-450УЗ та 0,4 кВ марки ККУ-0,4 потужністю 120 - 400 квар.

Струми короткого замикання в розподільній мережі депо розраховано в умовних базисних одиницях, для максимального режиму роботи енергосистеми.

На підставі визначених параметрів проекрованої СЕП вибрано вимикачі ВР1-10-20/630УЗ з ЕМ приводом; вимикачі навантаження ВНРп-10/400-10зУЗ; запобіжники ПКТ-102-10-50-12,5УЗ; кабельні лінії 10 кВ марки ААБ2л.

У спеціальному розділі роботи розроблено систему автоматизованого обліку електроспоживання депо. Було вибрано первинні вимірювальні перетворювачі струму марки ТЛК-10 та напруги марки НАМИ-10-66УЗ. Для здійснення комерційного обліку обрано лічильники «Альфа» марки А18-05-RAL-P4-G-3, а для технічного обліку – серії НІК 2303. Система побудована на базі пристрою RTU-325L.

Загалом кваліфікаційна робота відповідає технічним та економічним вимогам.

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

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. 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.
5. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. 194 с.
6. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування / В. Г. Рудницький – Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. – 153 с.
7. Перехідні процеси в системах електропостачання: Підручник для вузів./ Г. Г. Півняк, В. М. Винославський, А. Я. Рибалко, Л. І. Несен / За ред. Г. Г. Півняка – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2002.
8. Перехідні процеси в системах електропостачання: / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. – Харків: ТОВ «В справі», 2016. – 260 с.
9. Коцар О. В. Автоматизовані системи контролю, обліку та управління енерговикористанням. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, –Дніпро Середняк Т. К., 2017. – 44 с.
10. Кваліфікаційна робота бакалавра: метод. рекомендації до структури та оформлення випускної кваліфікаційної роб. для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спец. 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад.: П. Г. Плешков, Н. Ю. Гарасьова, А. І. Котиш та ін.]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 80 с.

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис.	Дата		65

ДОДАТКИ

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

Додаток А.
Розрахунок графіків електричних навантажень

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

Таблиця А.1– Розрахунок добових графіків електронавантажень робочої зимової доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$n_{p,i},\%$	$P_{з,i}, \text{ кВт}$	$n_{q,i},\%$	$Q_{з,i}, \text{ квар}$	$S_{з,i}, \text{ кВА}$
1	0 – 1	68,0	2584,9	78	444,5	2622,8
2	1 – 2	65,0	2470,8	75	427,4	2507,5
3	2 – 3	63,0	2394,8	73	416,0	2430,7
4	3 – 4	60,0	2280,8	80	455,9	2325,9
5	4 – 5	60,0	2280,8	80	455,9	2325,9
6	5 – 6	60,0	2280,8	80	455,9	2325,9
7	6 – 7	73,0	2775,0	83	473,0	2815,0
8	7 – 8	70,0	2660,9	75	427,4	2695,0
9	8 – 9	94,0	3573,2	100	569,9	3618,4
10	9 – 10	90,0	3421,2	95	541,4	3463,7
11	10 – 11	83,0	3155,1	80	455,9	3187,9
12	11 – 12	64,0	2432,8	70	398,9	2465,3
13	12 – 13	64,0	2432,8	70	398,9	2465,3
14	13 – 14	80,0	3041,0	85	484,4	3079,4
15	14 – 15	78,0	2965,0	83	473,0	3002,5
16	15 – 16	84,0	3193,1	94	535,7	3237,7
17	16 – 17	92,0	3497,2	96	547,1	3539,7
18	17 – 18	94,0	3573,2	100	569,9	3618,4
19	18 – 19	100,0	3801,3	100	569,9	3843,8
20	19 – 20	88,0	3345,1	80	455,9	3376,1
21	20 – 21	93,0	3535,2	95	541,4	3576,4
22	21 – 22	90,0	3421,2	90	512,9	3459,4
23	22 – 23	83,0	3155,1	90	512,9	3196,5
24	23 – 24	67,0	2546,9	91	518,6	2599,1

Таблиця А.2. Розрахунок добових графіків електронавантажень вихідної зимової доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$n_{p,i},\%$	$P_{з,i}, \text{ кВт}$	$n_{q,i},\%$	$Q_{з,i}, \text{ квар}$	$S_{з,i}, \text{ кВА}$
1	0 – 1	20,0	760,3	24	136,8	772,5
2	1 – 2	20,0	760,3	24	136,8	772,5
3	2 – 3	20,0	760,3	24	136,8	772,5
4	3 – 4	20,0	760,3	24	136,8	772,5
5	4 – 5	20,0	760,3	24	136,8	772,5
6	5 – 6	20,0	760,3	24	136,8	772,5
7	6 – 7	20,0	760,3	24	136,8	772,5
8	7 – 8	11,0	418,1	18	102,6	430,5
9	8 – 9	11,0	418,1	18	102,6	430,5
10	9 – 10	11,0	418,1	18	102,6	430,5
11	10 – 11	11,0	418,1	18	102,6	430,5
12	11 – 12	11,0	418,1	18	102,6	430,5
13	12 – 13	11,0	418,1	18	102,6	430,5
14	13 – 14	11,0	418,1	18	102,6	430,5
15	14 – 15	11,0	418,1	18	102,6	430,5
16	15 – 16	11,0	418,1	18	102,6	430,5
17	16 – 17	11,0	418,1	18	102,6	430,5
18	17 – 18	20,0	760,3	24	136,8	772,5
19	18 – 19	20,0	760,3	24	136,8	772,5
20	19 – 20	20,0	760,3	24	136,8	772,5
21	20 – 21	20,0	760,3	24	136,8	772,5
22	21 – 22	20,0	760,3	24	136,8	772,5
23	22 – 23	20,0	760,3	24	136,8	772,5
24	23 – 24	20,0	760,3	24	136,8	772,5

Таблиця А.3 – Розрахунок добових графіків навантаження робочої літньої доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$n_{p,i},\%$	$P_{л,i}$, кВт	$n_{q,i},\%$	$Q_{л,i}$, квар	$S_{л,i}$, кВА
1	0 – 1	57,0	1841,7	65	314,9	1868,5
2	1 – 2	55,0	1777,1	65	314,9	1804,8
3	2 – 3	53,0	1712,5	63	305,2	1739,5
4	3 – 4	51,0	1647,9	61	295,5	1674,1
5	4 – 5	50,0	1615,6	55	266,4	1637,4
6	5 – 6	50,0	1615,6	55	266,4	1637,4
7	6 – 7	55,0	1777,1	65	314,9	1804,8
8	7 – 8	57,0	1841,7	67	324,5	1870,1
9	8 – 9	77,0	2488,0	87	421,4	2523,4
10	9 – 10	75,0	2423,3	87	421,4	2459,7
11	10 – 11	75,0	2423,3	88	426,3	2460,5
12	11 – 12	58,0	1874,0	68	329,4	1902,8
13	12 – 13	73,0	2358,7	70	339,1	2383,0
14	13 – 14	75,0	2423,3	70	339,1	2446,9
15	14 – 15	72,0	2326,4	80	387,5	2358,5
16	15 – 16	58,0	1874,0	60	290,6	1896,4
17	16 – 17	72,0	2326,4	75	363,3	2354,6
18	17 – 18	70,0	2261,8	78	377,8	2293,1
19	18 – 19	71,0	2294,1	79	382,7	2325,8
20	19 – 20	66,0	2132,5	70	339,1	2159,3
21	20 – 21	71,0	2294,1	70	339,1	2319,0
22	21 – 22	75,0	2423,3	80	387,5	2454,1
23	22 – 23	77,0	2488,0	80	387,5	2518,0
24	23 – 24	78,0	2520,3	84	406,9	2552,9

Таблиця А.4. Розрахунок добових графіків навантаження вихідної літньої доби

Номер інтервалу	Інтервал t , год	$n_{p,i},\%$	$P_{л,i}$, кВт	$n_{q,i},\%$	$Q_{л,i}$, квар	$S_{л,i}$, кВА
1	0 – 1	19,0	613,9	22	106,6	623,1
2	1 – 2	19,0	613,9	22	106,6	623,1
3	2 – 3	19,0	613,9	22	106,6	623,1
4	3 – 4	19,0	613,9	22	106,6	623,1
5	4 – 5	19,0	613,9	22	106,6	623,1
6	5 – 6	19,0	613,9	22	106,6	623,1
7	6 – 7	19,0	613,9	22	106,6	623,1
8	7 – 8	10,0	323,1	15	72,7	331,2
9	8 – 9	10,0	323,1	15	72,7	331,2
10	9 – 10	10,0	323,1	15	72,7	331,2
11	10 – 11	10,0	323,1	15	72,7	331,2
12	11 – 12	10,0	323,1	15	72,7	331,2
13	12 – 13	10,0	323,1	15	72,7	331,2
14	13 – 14	10,0	323,1	15	72,7	331,2
15	14 – 15	10,0	323,1	15	72,7	331,2
16	15 – 16	10,0	323,1	15	72,7	331,2
17	16 – 17	10,0	323,1	15	72,7	331,2
18	17 – 18	10,0	323,1	15	72,7	331,2
19	18 – 19	19,0	613,9	22	106,6	623,1
20	19 – 20	19,0	613,9	22	106,6	623,1
21	20 – 21	19,0	613,9	22	106,6	623,1
22	21 – 22	19,0	613,9	22	106,6	623,1
23	22 – 23	19,0	613,9	22	106,6	623,1
24	23 – 24	19,0	613,9	22	106,6	623,1

Таблиця А.5 – Розрахунок річних графіків електронавантажень за тривалістю

№ п/п	Тривалість ступеня, год	Потужність P , год	Тривалість ступеня, год	Потужність Q , кВт	Тривалість ступеня, год	Потужність S , квар
1	2	3	4	5	6	7
1	147	3801,3	147	569,3	147	3843,7
2	147	3573,2	147	569,3	147	3618,3
3	147	3573,2	147	569,3	147	3618,3
4	147	3535,2	147	546,5	147	3576,3
5	147	3497,2	147	540,8	147	3539,6
6	147	3421,2	147	540,8	147	3463,7
7	147	3421,2	147	535,1	147	3459,3
8	147	3345,1	147	518,1	147	3376,0
9	147	3193,1	147	512,4	147	3237,6
10	147	3155,1	147	512,4	147	3196,4
11	147	3155,1	147	483,9	147	3187,8
12	147	3041,0	147	472,5	147	3079,3
13	147	2965,0	147	472,5	147	3002,4
14	147	2774,9	147	455,4	147	2814,9
15	147	2660,9	147	455,4	147	2694,9
16	147	2584,9	147	455,4	147	2622,7
17	147	2546,9	147	455,4	147	2599,0
18	105	2520,3	147	455,4	105	2552,8
19	105	2488,0	147	444,1	105	2523,3
20	105	2488,0	147	427,0	105	2517,9
21	147	2470,8	147	427,0	147	2507,5
22	147	2432,8	147	415,6	147	2465,3
23	147	2432,8	147	398,5	147	2465,3
24	105	2423,3	147	398,5	105	2460,5
25	105	2423,3	65	136,6	105	2459,6
26	105	2423,3	65	136,6	105	2454,1
27	105	2423,3	65	136,6	105	2446,9
28	147	2394,8	65	136,6	147	2430,6
29	105	2358,7	65	136,6	105	2382,9
30	105	2326,4	65	136,6	105	2358,4
31	105	2326,4	65	136,6	105	2354,5
32	105	2294,1	65	136,6	147	2325,8
33	105	2294,1	65	136,6	147	2325,8
34	147	2280,8	65	136,6	147	2325,8
35	147	2280,8	65	136,6	105	2325,7
36	147	2280,8	65	136,6	105	2319,0
37	105	2261,8	65	136,6	105	2293,1
38	105	2132,5	65	136,6	105	2159,3
39	105	1874,0	48	106,5	105	1902,7
40	105	1874,0	105	106,5	105	1896,4
41	105	1841,7	105	106,5	105	1870,0
42	105	1841,7	105	106,5	105	1868,4
43	105	1777,1	48	106,5	105	1804,7
44	105	1777,1	105	106,5	105	1804,7
45	105	1712,5	105	106,5	105	1739,4
46	105	1647,9	105	106,5	105	1674,1

Продовження табл. А.5.

1	2	3	4	5	6	7
47	105	1615,6	105	106,5	105	1637,3
48	105	1615,6	48	106,5	105	1637,3
49	65	760,3	48	106,5	65	772,4
50	65	760,3	48	106,5	65	772,4
51	65	760,3	48	106,5	65	772,4
52	65	760,3	48	106,5	65	772,4
53	65	760,3	48	106,5	65	772,4
54	65	760,3	48	106,5	65	772,4
55	65	760,3	48	106,5	65	772,4
56	65	760,3	48	106,5	65	772,4
57	65	760,3	48	106,5	65	772,4
58	65	760,3	105	106,5	65	772,4
59	65	760,3	105	106,5	65	772,4
60	65	760,3	105	106,5	65	772,4
61	65	760,3	105	106,5	65	772,4
62	65	760,3	48	106,5	65	772,4
63	48	613,9	105	106,5	48	623,1
64	48	613,9	105	106,5	48	623,1
65	48	613,9	65	102,5	48	623,1
66	48	613,9	65	102,5	48	623,1
67	48	613,9	65	102,5	48	623,1
68	48	613,9	65	102,5	48	623,1
69	48	613,9	65	102,5	48	623,1
70	48	613,9	65	102,5	48	623,1
71	48	613,9	65	102,5	48	623,1
72	48	613,9	65	102,5	48	623,1
73	48	613,9	65	102,5	48	623,1
74	48	613,9	65	102,5	48	623,1
75	48	613,9	48	72,6	48	623,1
76	65	418,1	48	72,6	65	430,5
77	65	418,1	105	72,6	65	430,5
78	65	418,1	105	72,6	65	430,5
79	65	418,1	48	72,6	65	430,5
80	65	418,1	105	72,6	65	430,5
81	65	418,1	48	72,6	65	430,5
82	65	418,1	48	72,6	65	430,5
83	65	418,1	105	72,6	65	430,5
84	65	418,1	105	72,6	65	430,5
85	65	418,1	48	72,6	65	430,5
86	48	323,1	105	72,6	48	331,2
87	48	323,1	105	72,6	48	331,2
88	48	323,1	48	72,6	48	331,2
89	48	323,1	48	72,6	48	331,2
90	48	323,1	48	72,6	48	331,2
91	48	323,1	48	72,6	48	331,2
92	48	323,1	105	72,6	48	331,2
93	48	323,1	105	72,6	48	331,2
94	48	323,1	105	72,6	48	331,2
95	48	323,1	105	72,6	48	331,2
96	48	323,1	48	72,6	48	331,2
Всього	8760		8760		8760	

Додаток Б. Розрахунок картограми навантажень

Таблиця Б.1 – Розрахунок картограми навантажень локомотивного депо

№ п/п	Назва підрозділу	Навантаження, кВт			Радіус кола, мм	Координати центру кола, м		Градусна міра кута,	Добутки, кВт·м ²	
		$P_{p.i}$	$P_{p.oc.i}$	$P_{p.\Sigma.i}$	r	x	y	α	$P_{\Sigma.i} \cdot x_i$	$P_{\Sigma.i} \cdot y_i$
1	Блок складів	64,9	14,3	79,2	5,0	92,5	227,7	65,1	7327,3	18039,5
2	Деревообробний цех	44,4	8,8	53,2	4,1	154,3	259,0	59,4	8210,5	13777,7
3	Насосна станція	68,1	3,4	71,5	4,8	251,4	251,2	17,3	17978,2	17966,7
4	Копресорна станція	724,2	16,0	740,2	15,4	316,8	250,6	7,8	234503,4	185470,8
5	Дизель-агрегатний цех	57,6	17,3	74,9	4,9	232,6	207,4	83,0	17419,6	15532,6
6	Механічний цех	215,5	17,3	232,8	8,6	273,9	207,4	26,7	63756,5	48282,9
7	Електротехнічний цех	102,3	17,4	119,7	6,2	313,7	207,4	52,2	37543,1	24827,7
8	Цех ВПРТ	328,4	81,7	410,1	11,4	272,0	175,7	71,7	111543,5	72044,0
9	Цех періодичного огляду	109,0	51,1	160,1	7,1	272,0	143,2	114,8	43544,4	22924,8
10	Зварювальний цех	134,9	10,6	145,5	6,8	238,4	121,0	26,3	34689,1	17612,3
11	Акумуляторне відділення	97,1	11,7	108,7	5,9	238,4	282,3	38,6	25924,6	30700,6
12	Випробовувальний цех	157,3	15,8	173,2	7,4	238,4	317,5	32,9	41279,3	54979,1
13	Адмінкорпус	12,5	91,2	103,8	5,7	343,1	50,0	316,6	35600,0	5187,7
14	Їдальня	154,8	55,3	210,1	8,2	312,7	40,5	94,7	65711,9	8506,1
15	Побутові приміщення	24,8	7,7	32,5	3,2	212,4	50,0	85,0	6906,2	1625,8
16	Заготівельний цех	205,1	22,3	227,4	8,5	179,2	118,0	35,3	40750,1	26833,2
17	Кузнечно-термічний цех	640,1	27,9	667,9	14,6	141,3	118,0	15,0	94366,3	78816,7
18	Гальванічний цех	248,0	20,7	268,7	9,3	81,4	107,3	27,7	21862,0	28826,9
19	Колісно-роликовий цех	470,9	27,6	498,4	12,6	32,1	132,9	19,9	15990,2	66233,8
	Всього			4378,0	37,34				924906,2	738188,9

Додаток В. Розрахунок електричних навантажень магістральних ліній

Таблиця В.1 - Розрахунок силових електричних навантажень в мережі 10 кВ для вибору магістральних ліній

№ п/п	Назва вузлів навантаження та груп електроприймачів	К-сть ел. споживачів	Встановлена потужність, кВт		m	Кв	cosφ	tgφ	Середнє навантаження за зміну		ne	Км	Розрахункова потужність,		
			одного	сумарна					Рср, кВт	Qср, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Кабельні лінії 5, 6														
	ТП-1 (4х630)														
	силова	31	2,2 - 160	985,7	73	0,70	0,80	0,75	687,9	515,9	12	1,143	786,053	515,899	940,2295
	освітлювальна								20,4	35,3			19,4208	33,6378	
	батареї конденсаторів													-240	
	ТП 2 (1х630)														
	силова	170	1 - 77	1748	>3	0,33	0,64	1,19	581,9	692,2	46	1,17	679,7	692,2	970,1
	освітлювальна								140,5	243,4			142,4	246,6	
	батареї конденсаторів													-680,0	
	Всього														
	силова	201	0,5 - 160	2734,1	>3	0,46	0,72	0,95	1269,7	1208,1	34	1,15	1455,6	1208,1	1891,6
	освітлювальна								160,9	278,8			161,8	280,3	
	батареї конденсаторів													-920,0	
	Всього по ТП 1, 2 (4х630)								1430,7	1486,9			1617,4	568,4	1714,3
	втрати в трансформаторах												18,0	79,3	
	Всього по КЛ5, 6												1635,4	647,6	1759,0
	Кабельна лінія 9, 10														
	ТП 4 (2х630)														
	силова	67	1 - 160	1370,7	>3	0,46	0,56	1,47	631,2	925,6	17	1,26	792,3	925,6	1218,4
	освітлювальна								52,7	91,3			50,2	86,9	
	батареї конденсаторів													-800,0	
	ТП 5 (2х630)														
	силова	86	0,6 - 160	1279,3	>3	0,45	0,74	0,90	578,6	519,8	16	1,27	737,3	519,8	902,1
	освітлювальна								72,0	124,6			62,5	108,3	
	батареї конденсаторів													-300,0	

продовження табл. В.1

1	2	3		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Всього														
	силова	153	0,6 160,0	2650,0	>3	0,46	0,64	1,19	1209,9	1445,5	33	1,15	1395,5	1445,5	2009,2
	освітлювальна								124,7	215,9			112,7	195,2	
	батареї конденсаторів													-1100,0	
	Всього по ТП 4, 5 (4х630)								1334,5	1661,4			1508,2	540,7	1602,2
	втрати в трансформаторах												16,3	71,1	
	Всього по КЛ 9, 10												1524,5	611,9	1642,7

Додаток Г.
Вибір трансформаторів цехових ПС

Таблиця Г.1 – Вибір трансформаторів цехових підстанцій локомотивного депо

№ ТП	Назва споживача	Категорія ЕП за безперебійністю електропостачання	S_p , кВт	$k_{зд}$	$k_{з.ав}$	$S_{p.т}$, 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
	ТП-1								
3	Насосна станція	II							
4	Компресорна станція	II							
	Всього по ТП-1		862,9	1,37	1,37	862,9	2хТМГ-630/10/0,4	1,4	882,0 > 862,9
	ТП-2								
2	Деревообробний цех	III							
5	Дизель-агрегатний цех	II							
6	Механічний цех	II							
7	Електротехнічний цех	II							
8	Цех ВПР	II							
	Всього по ТП-2		861,9	0,684	1,37	431,0	2хТМГ-630/10/0,4	1,4	882,0 > 861,9

