

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 ПЛЕШКОВ
“ ____ ” _____2026р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Проєктування електротехнічної системи
електроспоживання вагоноремонтного заводу”

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу, групи ЕЕ-22
ОПП «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Щербина О.О.
« ____ » _____2026р.

Керівник роботи
к.т.н., доцент
_____Андрій КОТИШ
« ____ » _____2026р.

Рецензент _____

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

_____ Плєшков П.Г.

«_____» _____ 2026 р.

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

Щербини Олексія Олеговича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проектування електротехнічної системи
електроспоживання вагоноремонтного заводу

Design of an electrical system for the power consumption of a wagon repair plant

2. Керівник роботи (проекту)

Котиш Андрій Іванович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Вступ; 1.Електричні навантаження; 2.Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки; 3.Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання; 4.Компенсація реактивної потужності; 5.Трансформаторні підстанції; 6.Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання; 7.Спеціальний розділ; Висновки; Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Спеціальний розділ</i>	<i>к.т.н., доц. Н. Гарасьова</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>08.05.26</i>	
2	<i>Електричні навантаження</i>	<i>12.05.26.</i>	
3	<i>Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної розподільної установки</i>	<i>16.05.26.</i>	
4	<i>Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства</i>	<i>19.05.26.</i>	
5	<i>Компенсація реактивної потужності</i>	<i>21.05.26.</i>	
6	<i>Трансформаторні підстанції</i>	<i>24.05.26</i>	
7	<i>Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання</i>	<i>28.05.26.</i>	
8	<i>Спеціальний розділ</i>	<i>01.06.26.</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2026 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: с.; 27 рис.; 15 табл.; 13 джерел.

Щербина О. О. Проєктування електротехнічної системи електроспоживання вагоноремонтного заводу. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2026 р.

Актуальність теми. Залізничний транспорт є однією з найважливіших складових інфраструктури, що забезпечує стабільне функціонування економіки та логістики держави. Безперебійна робота залізниці напряду залежить від технічного стану рухомого складу, підтримання якого є головним завданням вагоноремонтних заводів. Такі підприємства є складними промисловими об'єктами з високим рівнем механізації та автоматизації виробничих процесів, великою кількістю потужних електроприймачів, зварювального обладнання та підйомно-транспортних механізмів.

Метою роботи є розробка надійної, безпечної та економічно обґрунтованої системи електроспоживання та електропостачання вагоноремонтного заводу, яка відповідає чинним нормативно-технічним вимогам і забезпечує безперебійний технологічний процес.

Об'єктом дослідження є система електроспоживання та електропостачання промислового підприємства (вагоноремонтного заводу).

Предметом дослідження є методи розрахунку електричних навантажень, струмів короткого замикання та критерії вибору сучасного електротехнічного обладнання для забезпечення оптимальних режимів роботи мережі.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані в проєкті технічні рішення можуть бути використані при модернізації існуючих або будівництві нових систем електропостачання підприємств залізничної галузі

з метою підвищення надійності їх роботи та зниження питомих витрат електроенергії.

Ключові слова: електроспоживання, вагоноремонтний завод, електричні навантаження, трансформаторна підстанція, тягове електропостачання, постійний струм, схема підсилення, енергоефективність.

SUMMARY

Shcherbyna O.O. Design of an electrical system for the power consumption of a wagon repair plant. 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" EPP, "Electric power, electrical engineering and electromechanics". Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi, 2026.

Relevance of the topic. Railway transport is one of the most important components of the infrastructure that ensures the stable functioning of the economy and logistics of the state. The uninterrupted operation of the railway directly depends on the technical condition of the rolling stock, the maintenance of which is the main task of car repair plants. Such enterprises are complex industrial facilities with a high level of mechanization and automation of production processes, a large number of powerful electrical receivers, welding equipment and lifting and transport mechanisms.

The purpose of the work is to develop a reliable, safe and economically justified system of electricity consumption and power supply of a car repair plant, which meets the current regulatory and technical requirements and ensures an uninterrupted technological process.

The object of the study is the system of electricity consumption and power supply of an industrial enterprise (car repair plant).

The subject of the study is methods for calculating electrical loads, short-circuit currents and criteria for selecting modern electrical equipment to ensure optimal network operating modes.

The practical significance of the results obtained. The technical solutions proposed in the project can be used in the modernization of existing or construction of new power supply systems of railway enterprises in order to increase the reliability of their operation and reduce specific electricity consumption.

Keywords: power consumption, car repair plant, electrical loads, transformer substation, traction power supply, direct current, amplification scheme, energy efficiency.

3MICT

Стоп.

Вступ.....	1
1. Електричні навантаження.....	1
2. Картограма електричних навантажень та місце розташування центральної роподільної установки (головної знижувальної підстанції).....	2
3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства.....	3
4. Компенсація реактивної потужності.....	4
5. Трансформаторні підстанції.....	5
6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання.....	6
7. Спеціальний розділ роботи.....	7
Висновки.....	8
Перелік посилань.....	9

					Випускна кваліфікаційна робота						
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис.	Дат	Проектування електротехнічної системи електроспоживання вагоноремонтного заводу				Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Щербина										
Перевір.	Котиш										
Н.контр.									ЦНТУ ар. ЕЕ-22		
Затвер.	Плещков										

ВСТУП

У сучасних умовах постійного зростання вартості енергоносіїв та жорстких вимог до екологічності виробництва, питання раціонального та ефективного використання електроенергії набуває першочергового значення. Проектування сучасної системи електроспоживання вагоноремонтного заводу дозволяє не лише забезпечити надійне живлення всіх технологічних ліній, але й мінімізувати втрати електроенергії, підвищити якість напруги та знизити експлуатаційні витрати шляхом впровадження новітнього енергозберігаючого обладнання. Все це робить тему даного проєкту актуальною та практично значущою.

На основі отриманих результатів розроблено раціональну схему внутрішньозаводського електропостачання, обрано оптимальну кількість і потужність цехових трансформаторних підстанцій, а також розраховано засоби компенсації реактивної потужності. Виконано розрахунок струмів короткого замикання, що дозволило здійснити обґрунтований вибір та перевірку комутаційної апаратури, пристроїв захисту і перерізів кабельних ліній.

Окрему увагу в спеціальному розділі приділено дослідженню та розробці схеми підсилення в системі тягового електропостачання постійного струму. Розглянуто технічні рішення для стабілізації рівня напруги в тяговій мережі, що дозволяє зменшити втрати електроенергії, підвищити пропускну здатність ділянок, прилеглих до підприємства (або випробувальних колій заводу), та забезпечити оптимальні режими роботи електрорухомого складу.

Інтеграція проєктних рішень внутрішньозаводського живлення зі схемою підсилення тягової мережі забезпечує безперебійність виробничих процесів ремонту рухомого складу та оптимізує роботу електрифікованої залізничної інфраструктури.

1. Електричні навантаження (параметри електроспоживання)

Розрахунки цього розділу здійснюються відповідно до методики, що викладена у [1 та 2].

1.1. Електричні силові навантаження в мережах підприємства до 1000В

Розрахункове активне навантаження:

$$P_p = P_{cm} \cdot K_m \quad (1.1)$$

P_{cm} - середньозмінне активне навантаження;

K_m - коефіцієнт максимуму навантаження.

Груповий коефіцієнт використання:

$$K_u = \frac{\sum_1^n P_{cm}}{\sum_1^n P_n} \quad (1.2)$$

Ефективне число електроприймачів в групі (чи вузлі) n_e визначається:

$$n_e = \frac{2 \sum P_n}{P_{n, \max}} \quad (1.3)$$

Для даної групи приймачів чи вузла навантаження:

$$Q_p = Q_{cm} \quad (1.4)$$

- при $n_e > 10$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{cm} \quad (1.5)$$

- при $n_e \leq 10$;

$$Q_{cm} = P_{cm} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1.6)$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.7)$$

Приклад розрахунку (Склад матеріалів та запчастин).

Згідно початкових даних.

$$m = \frac{P_{н. \max}}{P_{н. \min}} = \frac{5}{5} = 1$$

$$P_{см} = P_{сум} K_u = 30 \cdot 0.6 = 18 \text{ кВт}$$

$$Q_{см} = P_{см} \operatorname{tg} \varphi = 18 \cdot 0.48 = 8.72 \text{ кВар}$$

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum P_n}{P_{н. \max}} = \frac{2 \cdot 30}{5} = 12$$

Користуючись джерелами [1 і 2] знаходимо коефіцієнт максимуму - Км. Для цих умов задачі він становить Км=1,39.

$$P_p = P_{см} \cdot K_m = 18 \cdot 1.39 = 25.03 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 1.1 \cdot Q_{см} = 1.1 \cdot 8.72 = 9.52 \text{ кВар}$$

Проводимо аналогічно розрахунок також для інших цехів й підрозділів заводу, як показано вище, а результати зводимо до таблиці 1.1.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№	Назва групи споживачів	Кіл-ть ЕС	min	max	PΣ	m	K	cosφ	tgφ	Pсм, кВт	Qсм, квар	неф	Kм	Pр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
1	Склад матеріалів та запчастин	6	5	5	29.7	1	0.60	0.90	0.48	17.82	8.91	6	1.39	24.78	9.49	26.53
2	Склад пиломатеріалів	3	5	10	19.8	2	0.50	0.80	0.75	9.9	7.92	3	1.85	18.32	8.17	20.06
3	Сушильне відділення	20	3	20	148.5	7	0.50	0.90	0.48	74.25	35.64	15	1.29	95.89	35.96	102.42
4	Деревообробний цех	25	3	20	198	7	0.20	0.60	1.33	39.6	52.47	20	1.54	60.97	52.80	80.66
5	Їдальня та магазин	23	1	15	188.1	18	0.5	0.9	0.48	94.05	45.55	23	1.23	115.42	45.55	124.09
6	Компресорна станція (0.4 кВ)	3	125	125	371.25	1	0.60	0.70	1.02	222.75	227.70	3	1.65	366.69	249.98	443.79
7	Склад паливно-мастильних матеріалів	5	5	20	79.2	4	0.50	0.80	0.75	39.6	29.7	5	1.58	62.59	32.67	70.60
8	Колісно-роликовий цех	75	1	60	1193.94	60	0.40	0.76	0.86	477.18	408.87	40	1.21	578.54	408.40	708.17
9	Гараж та пожежне депо	10	3	-	99	5	0.30	0.60	1.33	29.7	39.6	10	1.61	47.80	43.56	64.67
10	Вагоноскладальний цех	160	1	15	2673	25	0.50	0.70	1.02	1336.5	1363.23	160	1.08	1438.87	1363.51	1982.29

11	Ремонтно-механічний цех та лабораторія	30	5	-	198	3	0.50	0.80	0.74	99	73.26	30	1.20	118.33	73.38	139.23
12	Візковий цех (0.4 кВ)	50	3	20	742.5	7	0.60	0.80	0.75	445.5	334.62	50	1.11	495.06	334.13	597.27
13	Ковальсько-пресовий цех	25	5	10	217.8	2	0.40	0.50	1.73	87.12	150.48	25	1.28	111.25	150.90	187.47
14	Склад колісних пар	3	7	7	20.79	1	0.50	0.80	0.75	10.89	7.92	3	1.85	19.23	8.57	21.06
15	Гальванічне відділення	20	10	20	297	2	0.70	0.80	0.75	207.9	156.42	20	1.13	234.85	155.93	281.89
16	Малярне відділення	50	1	10	445.5	10	0.50	0.80	0.75	222.75	167.31	50	1.15	255.34	167.06	305.14
17	Адміністративно-побутовий корпус 1															
18	Адміністративно-побутовий корпус 2															
19	Адміністративно-побутовий корпус 3															
20	Інструментальний склад	5	3	5	19.8	2	0.50	0.80	0.75	9.9	7.92	5	1.58	15.65	8.17	17.65
	Всього по заводу	513	1	125	6941.88	125	0.49	0.74	0.91	3424.41	3115.53	112	1.09	3749.05	3115.44	4874.56

Освітлювальні навантаження

Встановлена потужність освітлювальних приймачів нашого підприємства, (кВт):

$$P_y = p_0 F \cdot 10^{-3} \quad (1.8)$$

Тобто, результат напряду залежить від питомої потужності освітлювального навантаження (p_0) та площі приміщень заводу (цехів, відділень і т.д.) – F .

Освітлювальне розрахункове навантаження:

$$P_{p.осв} = K_n P_y \quad (1.9)$$

K_n - коефіцієнт попиту.

Q_p - залежить також від типу світильників, які обираються нами до встановлення на підприємстві.

Приклад розрахунку (склад матеріалів та запчастин):

$$F = 880 \text{ м}^2$$

$$P_0 = 10 \text{ Вт / м}^2$$

$$P_y = F \cdot P_0 \cdot 10^{-3} = 880 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 8.8 \text{ кВт}$$

$$P_p = K_n K_1 P_y = 0.6 \cdot 1.20 \cdot 8.8 = 21.5 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi = 21.5 \cdot 0.48 = 10.4 \text{ кВар}$$

Результати інших розрухунків для других цехів аналогічні до показаного та зведено до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Освітлювальне навантаження підприємства

Назва групи споживачів	F, м²	p0, Вт/м²	Pу, кВт	Kс	cos φ	tg φ	Pp, кВт	Qp, квар	Sp, кВА
Склад матеріалів та запчастин	880	10	8,80	0,60	0,50	1,73	5,3	9,1	10,56
Склад пиломатеріалів	672	10	6,72	0,60	0,50	1,73	4,0	7,0	8,064
Сушильне відділення	9600	15	144,00	0,80	0,50	1,73	115,2	199,5	230,4
Деревообробний цех	1440	20	28,80	0,90	0,50	1,73	25,9	44,9	51,84
Їдальня та магазин	1632	20	32,64	0,60	0,90	0,48	19,6	9,5	21,76
Компресорна станція (0.4 кВ)	560	15	8,40	0,85	0,50	1,73	7,1	12,4	14,28
Склад паливно-мастильних матеріалів	880	5	4,40	0,60	0,50	1,73	2,6	4,6	5,28
Колісно-роликовий цех	1984	18	35,71	0,90	0,50	1,73	32,1	55,7	64,2816
Гараж та пожежне депо	704	16	11,26	0,65	0,50	1,73	7,3	12,7	14,6432
Вагоноскладальний цех	2928	8	23,42	0,90	0,50	1,73	21,1	36,5	42,1632
Ремонтно-механічний цех та лабораторія	1152	28	32,26	0,85	0,90	0,48	27,4	13,3	30,464
Візковий цех	1920	11	21,12	0,90	0,50	1,73	19,0	32,9	38,016
Ковальсько-пресовий цех	960	22	21,12	0,90	0,50	1,73	19,0	32,9	38,016
Склад колісних пар	528	10	5,28	0,60	0,50	1,73	3,2	5,5	6,336
Гальванічне відділення	1680	15	25,20	0,90	0,50	1,73	22,7	39,3	45,36
Малярне відділення	2208	13	28,70	0,60	0,50	1,73	17,2	29,8	34,4448
Адміністративно-побутовий корпус 1	1248	30	37,44	0,70	0,90	0,48	26,2	12,7	29,12
Адміністративно-побутовий корпус 2	800	30	24,00	0,70	0,90	0,48	16,8	8,1	18,6667
Адміністративно-побутовий корпус 3	640	30	19,20	0,70	0,90	0,48	13,4	6,5	14,9333
Інструментальний склад	1280	5	6,40	0,60	0,50	1,73	3,8	6,7	7,68
Територія заводу	240 000	0,2	48,00	1,00	0,50	1,73	48,0	83,1	96
Всього по заводу			475,28				457,1	662,7	805,0

1.3. Електричні силові навантаження в мережі підприємства вище 1000В

Розрахунки ел. навантажень в мережах із напругою вищою за 1000 В виконується відповідно до рекомендацій відповідної літератури [3, 4, 5]. При цьому обов'язковим моментом є факт врахування втрат потужності у силових трансформаторах.

$$\Delta P = n(\Delta P_x + \Delta P_k K_z^2) \quad (1.10)$$

$$\Delta Q = n\left(\frac{I_x}{100} S_n + \frac{U_k}{100} S_n K_z^2\right) \quad (1.11)$$

де n – кількість трансформаторів;

$\Delta P_x, \Delta P_k$ – втрати відповідно х.х і к.з., %;

K_z – коефіцієнт завантаження трансформаторів;

Кінцеві результати розрахунків силових та освітлювальних електричних навантажень у мережах напругою вищою за 1000 В наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. Розрахунок електричних навантажень вище 1 кВ

Назва групи споживачів	Кількість ЕС	Родн min	Родн max	Р сумарна, кВт	m	Кв	cosφ	tgφ	Рсм, кВт	Qсм, квар	пe	Км	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА
ТП № 1															
Склад матеріалів та запч.															
- силова	6	5	5	30	1	0,60	0,90	0,48	18	9	6	1,39	25,03	9,59	26,80
- освітлювальна													5,30	9,10	10,56
- Всього													30,33	18,69	35,63
Склад пиломатеріалів															
- силова	3	5	10	20	2	0,50	0,80	0,75	10	8	3	1,85	18,50	8,25	20,26
- освітлювальна													4,00	7,00	8,06
- Всього													22,50	15,25	27,18
Сушильне відділення															
- силова	20	3	20	150	7	0,50	0,90	0,48	75	36	15	1,29	96,86	36,32	103,45
- освітлювальна													115,20	199,50	230,40
- Всього													212,06	235,82	317,07
Їдальня та магазин															
- силова	23	1	15	190	18	0,50	0,90	0,48	95	46,01	23	1,23	116,59	46,01	125,34
- освітлювальна													19,60	9,50	21,76
- Всього													136,19	55,51	147,07
Компресорна станція (0.4 кВ)															
- силова	3	125	125	375	1	0,60	0,70	1,02	225	230	3	1,65	370,39	252,50	448,27
- освітлювальна													7,10	12,40	14,28
- Всього													377,49	264,90	460,84

Склад ПММ															
- силова	5	5	20	80	4	0,50	0,80	0,75	40	30	5	1,58	63,22	33,00	71,31
- освітлювальна													2,60	4,60	5,28
- Всього													65,82	37,60	75,80
Колісно-роликовий цех															
- силова	75	1	60	1206	60	0,40	0,76	0,86	482	413	40	1,21	584,38	412,53	715,32
- освітлювальна													32,10	55,70	64,28
- Всього													616,48	468,23	774,22
Всього по ТП № 1															
- силова	135			2051					945	772,01			1274,97	798,20	1503,77
- освітлювальна													185,90	297,80	351,62
- БК на 0,4 кВ														-854,00	
- Всього на шинах 0,4 кВ ТП 1													1460,87	242,00	1480,78
- Втрати в трансформаторах													18,00	89,00	
Всього на шинах 10 кВ ТП 1													1478,87	331,00	1515,46
ТП № 2															
Вагоноскладальний цех															
- силова	160	1	25	2700	25	0,50	0,70	1,02	1350	1377	160	1,08	1453,40	1377,28	2002,31
- освітлювальна													21,10	36,50	42,16
- Всього													1474,50	1413,78	2042,82
Всього по ТП № 2															
- БК на 0,4 кВ														- 1372,00	
- Всього на шинах 0,4 кВ ТП 2													1474,50	41,78	1475,09
- Втрати в													18,00	88,00	

трансформаторах															
Всього на шинах 10 кВ ТП 2													1492,50	129,78	1498,13
ТП № 3															
Деревообробний цех															
- силова	25	3	20	200	7	0,20	0,60	1,33	40	53	20	1,54	61,59	53,33	81,47
- освітлювальна													25,90	44,90	51,84
- Всього													87,49	98,23	131,55
Ковальсько-пресовий цех															
- силова	25	5	10	220	2	0,40	0,50	1,73	88	152	25	1,28	112,37	152,42	189,36
- освітлювальна													19,00	32,90	38,01
- Всього													131,37	185,32	227,16
Адмін.-побутовий корпус 1															
- освітлювальна / Всього													26,20	12,70	29,12
Адмін.-побутовий корпус 2															
- освітлювальна / Всього													16,80	8,10	18,67
Всього по ТП № 3															
- силова	50			420					128	205			173,96	205,75	269,44
- освітлювальна													87,90	98,60	132,14
- БК на 0,4 кВ														-150,00	
- Всього на шинах 0,4 кВ ТП 3													261,86	154,35	304,01
- Втрати в трансформаторах													5,00	20,00	
Всього на шинах 10 кВ ТП 3													266,86	174,35	318,82

ТП № 4															
Гараж та пожежне депо															
- силова	10	3	-	100	5	0,30	0,60	1,33	30	40	10	1,61	48,28	44,00	65,32
- освітлювальна													7,30	12,70	14,64
- Всього													55,58	56,70	79,40
Рем.-мех. цех та лаб.															
- силова	30	5	-	200	3	0,50	0,80	0,74	100	74	30	1,20	119,53	74,12	140,64
- освітлювальна													27,40	13,30	30,46
- Всього													146,93	87,42	170,93
Склад колісних пар															
- силова	3	7	7	21	1	0,50	0,80	0,75	11	8	3	1,85	19,42	8,66	21,27
- освітлювальна													3,20	5,50	6,34
- Всього													22,62	14,16	26,68
Малярне відділення															
- силова	50	1	10	450	10	0,50	0,80	0,75	225	169	50	1,15	257,92	168,75	308,22
- освітлювальна													17,20	29,80	34,44
- Всього													275,12	198,55	339,46
Гальванічне відділення															
- силова	20	10	20	300	2	0,70	0,80	0,75	210	158	20	1,13	237,22	157,50	284,74
- освітлювальна													22,70	39,30	45,36
- Всього													259,92	196,80	325,96
Інструментальний склад															
- силова	5	3	5	20	2	0,50	0,80	0,75	10	8	5	1,58	15,81	8,25	17,83
- освітлювальна													3,80	6,70	7,68
- Всього													19,61	14,95	24,64
Адмін.-побутовий корпус 3															
- освітлювальна /													13,40	6,50	14,93

[illegible]

1.4. Графіки електричних навантажень

На основі результатів вимірювань електроспоживання підприємства виконують побудову добових графіків навантаження окремо для зимового та літнього сезонів. Такі графіки демонструють, як упродовж доби змінюються значення активної ($P(t)$), реактивної ($Q(t)$) і повної ($S(t)$) потужностей, враховуючи чергування робочих і неробочих днів.

Виходячи з цих добових залежностей, формують річний графік тривалості навантаження, який характеризує розподіл потужності протягом усього року.

Аналіз добових графіків дає змогу оцінити допустиме навантаження силових трансформаторів, а також визначити граничні значення — максимальні та мінімальні рівні навантаження. Отримані показники застосовуються при подальших розрахунках режимів функціонування електромережі, зокрема для оцінки рівнів напруги.

Річний графік тривалості навантаження, у свою чергу, використовується для визначення річного споживання активної та реактивної електроенергії, обчислення середньозваженого коефіцієнта потужності, встановлення тривалості використання пікового навантаження, а також визначення еквівалентного річного часу повних енергетичних втрат (τ).

Спожиту активну й реактивну електричну енергію в умовах проектування можливо визначити наступними виразами:

$$W_z = \sum P_i T_i \quad (1.12)$$

$$V_z = \sum Q_i T_i \quad (1.13)$$

Час годин максимального використання навантаження та час найбільших втрат:

$$T_{\max} = \frac{\sqrt{W_I^2 + Q_I^2}}{P_P} \quad (1.14)$$

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 \quad (1.15)$$

Програма для побудови річного графіку за тривалістю					
Робочі дні:					
Зимові	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		Кількість днів робочих:		
	W _Г = 15934341		зимою	147	
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:		літом	105	
	V _Г = 1942124,31				
Літні	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		Кількість днів вихідних:		
	W _Г = 8632654,485		зимою	65	
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:		літом	48	
	V _Г = 1179146,903				
Вихідні дні:					
Зимові	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:		W _Р = 3540011331 V _Р = 1216887709		
	W _Г = 3061461				
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:				
	V _Г = 262450,5				
Літні	Річна витрата активної електричної енергії, кВт*год:				
	W _Г = 1921655,52				
	Річна витрата реактивної електричної енергії, кВт*год:				
	V _Г = 164738,16				
Час викорористання максимального навантаження, год:					
T _М = 4319,475					
Час максимальних втрат, год:					
τ _М = 2707,519975					

Графіки навантажень, згідно цих даних зображені на рис. 1.1. – 1.5.



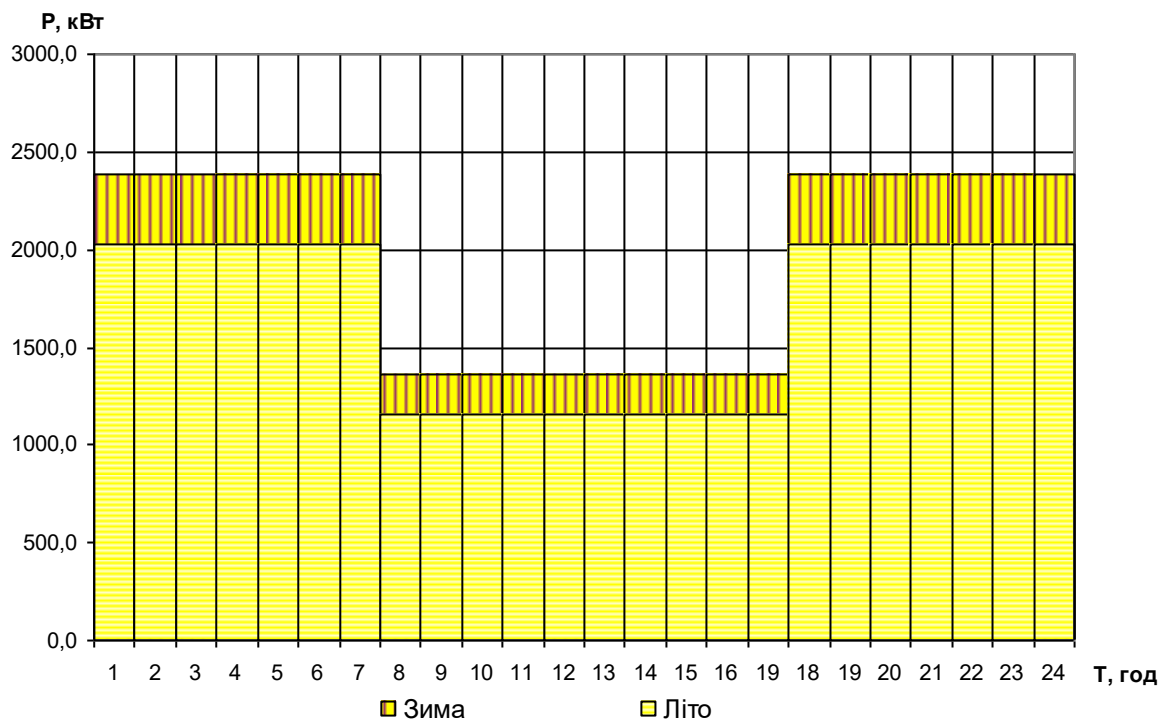


Рис. 1.3 Споживання активної потужності у вихідний день

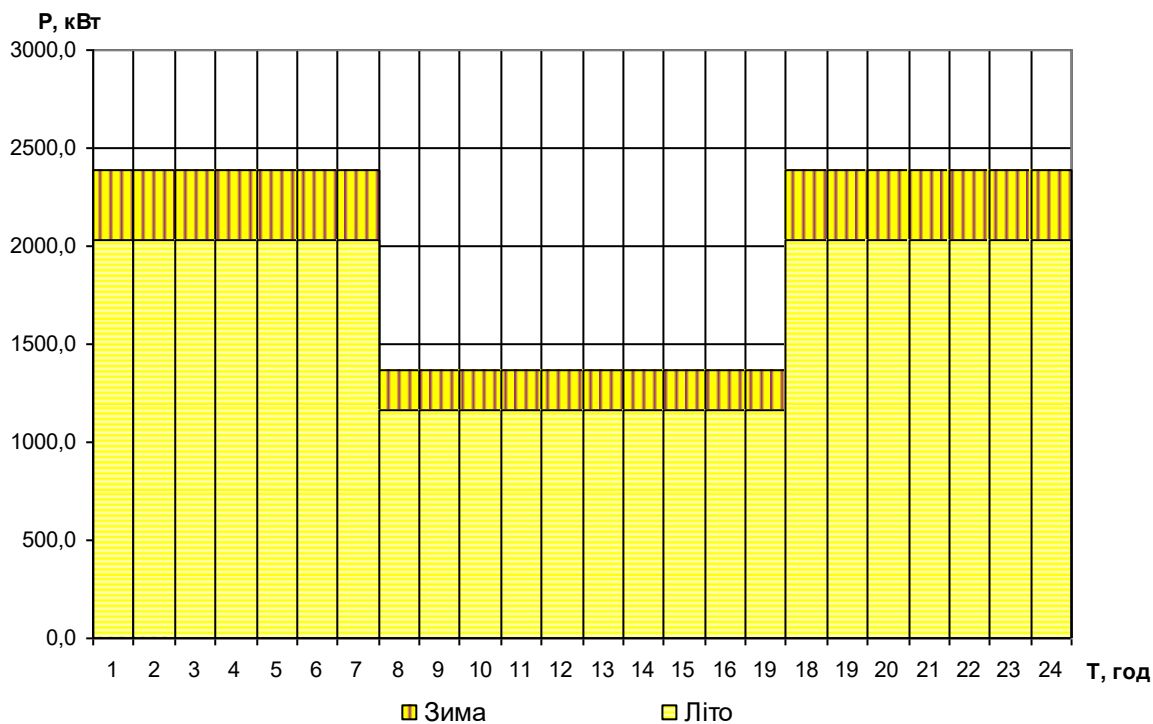
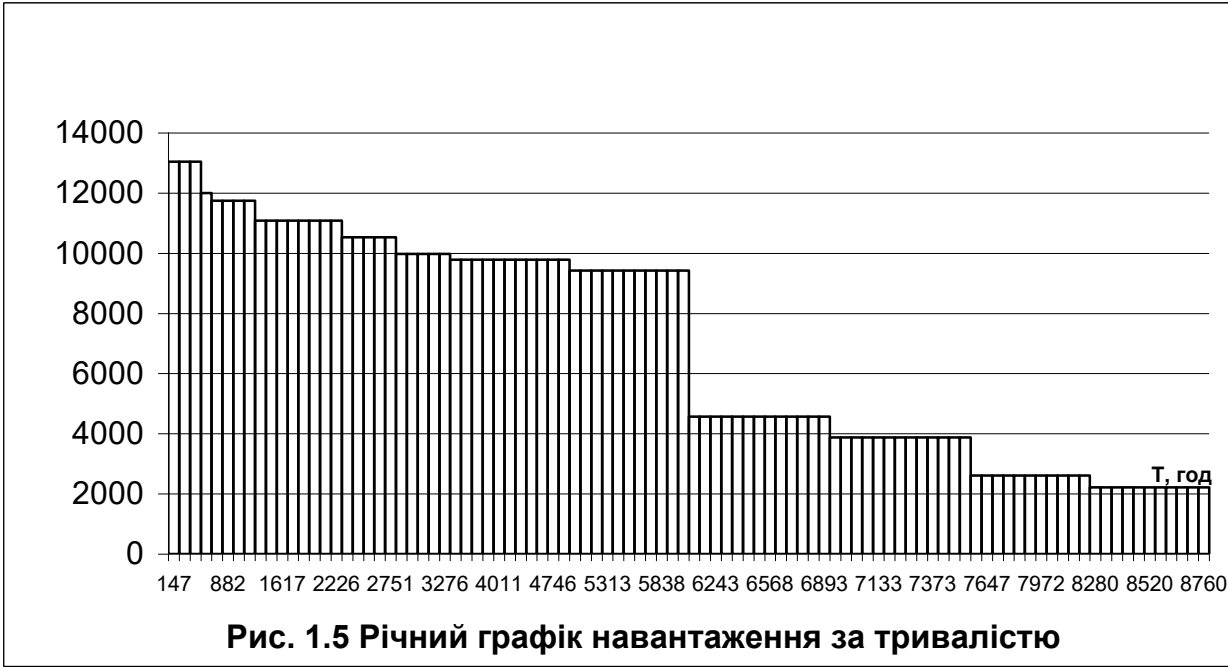


Рис. 1.4 Споживання реактивної потужності у вихідний день



2. Картограма електричних навантажень та місце розташування головної понижувальної підстанції (ГПП)

Побудова картограми електричних навантажень є важливим етапом проєктування та аналізу систем електропостачання, оскільки забезпечує наочне уявлення про просторовий розподіл споживання електроенергії на території підприємства.

Її значущість полягає в тому, що вона дозволяє:

- виявити зони з найбільшими концентраціями навантажень і, відповідно, визначити найбільш енергоємні цехи;
- обґрунтовано вибрати місце розташування трансформаторних підстанцій з метою мінімізації втрат електроенергії та довжини мереж;
- оптимізувати схему електропостачання підприємства, підвищуючи її економічність та надійність;
- оцінити рівномірність розподілу навантажень і виявити можливі перевантаження окремих ділянок мережі;
- створити основу для подальших техніко-економічних розрахунків і вибору обладнання.

Таким чином, картограма навантажень є не лише графічним інструментом, а й ефективним засобом прийняття інженерних рішень, що сприяє підвищенню ефективності та надійності роботи електричних мереж підприємства.

$$P_i = \pi R_i^2 m \quad (2.1)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}} \quad (2.2)$$

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2.3)$$

$$\alpha_i = \frac{P_{i.occ} \cdot 360}{\pi R_i^2} \quad (2.4)$$

Згідно описаної методики, потрібно для кожного окремого цеху нашого заводу розрахувати вказані координати та кут α .

Приклад. Вагоноскладальний цех

$$R_1 = \sqrt{\frac{P_1}{\pi n}} = \sqrt{\frac{P_{p.occ} + P_{p.cul}}{\pi n}} = \sqrt{\frac{967.16 + 21.55}{3.14 \cdot 1}} = 17.74 \text{ мм}$$

$$\alpha_i = \frac{P_{i.occ} \cdot 360}{\pi R_i^2} = \frac{21.55 \cdot 360}{3.14 \cdot 17.74^2} = 7.85^\circ$$

$$m = 1 \text{ кВт} / \text{мм}^2$$

При розрахунку центра навантаження було розраховано, що він знаходиться в координатах $X = 230,7 \text{ м}$, $Y = 107,9 \text{ м}$.

Підсумок розрахунків фіксуємо у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Побудова картограми електричних навантажень та розрахунок умовного центру навантажень

№	Назва цеху	Pp, кВт	X	Y	r, см
1	Матеріальний склад	25,03	10	20	0,89
2	Склад сухого дерева	18,50	20	25	0,77
3	Лісосушка	96,86	30	40	1,76
4	Деревообробний цех	61,59	40	35	1,40
5	Їдальня та магазин	116,59	15	50	1,93
6	Компресорна станція	370,39	60	20	3,43
7	Склад вугілля	63,22	70	30	1,42
8	Арматурно-зварювальний цех	584,38	50	60	4,31
9	Гараж та пожежне депо	48,28	25	10	1,24
10	Корпусно-котельний цех	1453,40	80	50	6,80
11	Ремонтні цехи	119,53	55	45	1,95
12	Ливарний цех	500,06	65	70	3,99
13	Модельний цех	112,37	35	65	1,89
14	Склад моделей	19,42	20	70	0,79
15	Гальванічний цех	237,22	75	65	2,75
16	Складально-установочний	257,92	85	30	2,86
17	Склад	15,81	10	75	0,71

3. Техніко-економічне обґрунтування схем зовнішнього та внутрішнього електропостачання підприємства

Техніко-економічні розрахунки є ключовим інструментом обґрунтування рішень у сфері електроенергетики. З огляду на значні інвестиції в енергетичну інфраструктуру та тривалий строк її експлуатації, орієнтація виключно на технічні характеристики є недостатньою. Важливо забезпечити раціональне поєднання інженерної надійності з економічною доцільністю.

Застосування техніко-економічного аналізу дає змогу визначити варіант, за якого сукупні витрати протягом усього життєвого циклу об'єкта електропостачання є мінімальними.

Відповідно до вихідних даних, електропостачання здійснюється від підстанції енергосистеми з практично необмеженою потужністю, розташованої на відстані 5 км. Підстанція оснащена двома трансформаторами напругою 150/35/10,5 кВ. З урахуванням цих умов доцільно виконати порівняльний аналіз можливих схем електропостачання з використанням двох рівнів напруги — 10 кВ та 35 кВ.

Приведені затрати:

$$Z_i = E_n K_i + C_i + C_{\text{втр.і}} + Y_i \quad (3.1)$$

де E_n - нормативний коефіцієнт, 1/рік;

K_i - капітальні підсумкові витрати у нашу схему, тис. грн.;

C_i - поточні затрати, тис.грн./рік;

$C_{\text{втр.і}}$ - вартість втрат електроенергії енергії, тис.грн./рік;

Y_i - ймовірний збиток від перервів в електропостачанні об'єкту, тис.грн/рік.

$$C_i = C_{ai} + C_{ei} \quad (3.2)$$

$$C_{emp} = c_0 \Delta W \quad (3.3)$$

де C_o – вартість втрат однієї кВт·год електроенергії, (грн.)

ΔW втрати електричної енергії в кабельних та повітряних лініях електропередач, кВт·год;

$$\Delta W = \Delta P_{1KM} l_{\Sigma} K_3^2 \tau \quad (3.4)$$

де $\Delta P_{1KM} - l_{\Sigma} - K_3 - \tau$ – відповідно питомі втрати активної потужності на 1 км; сумарна довжина ліній електропередачі, км; коефіцієнт завантаження зазначених ліній; кількість годин максимальних річних втрат.

Втрати електричної енергії в трансформаторах:

$$\Delta W = \Delta P_x t + \Delta P_K K_3^2 \tau \quad (3.5)$$

Збитки визначаються наступним чином:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.6)$$

де λ_i – параметр потоку відмов одного із елементів дослідної системи електропостачання застосованих у проектуванні, 1/рік;

n – кількість застосованих елементів у колі схеми.

Середній час відновлення однієї лінії (годин) (ланцюга схеми):

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Оди- ниця	Кількість	Вартість	Всього
1	КЛ 10 кВ	км	20	880	17600
	Траншея	км.	5	75	375
	Шафи КРП серії КУ-10	шт.	2	150	300
Всього					18275

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	К _ж , тис.грн.	Р _{аж} , %	С _{аж} , тис.грн.	Р _{эж} , %	С _{эж} , тис.грн.	С _ж , тис.грн.
1	КЛ 10 кВ	17600	5	880	5	880	1760
	Траншея	375	5	18,75	5	18,75	37,5
	Шафи КРП серії КУ-10	300	15	45	5	15	60
Всього							1857,5

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$У = У_0 P_{cp} T_a = 25 \cdot 3,37 \cdot 0,04333 = 3,65$$

Розрахунки по II-го варіанту

Таблиця 3.1. Розрахунок капітальних вкладень

№ вар.	Назва елемента схеми	Оди- ниця	Кількість	Вартість	Всього
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	км	5	940	4700
	ВРП 35 кВ	шт.	1	420	420
	2 х ТМН-10000/35	шт.	2	1000	2000
Всього					7120

Таблиця 3.2. Розрахунок поточних витрат

№ вар	Назва елемента схеми	К _ј , тис.грн.	Р _{ај} , %	С _{ај} , тис.грн.	Р _{эј} , %	С _{ај} , тис.грн.	С _ј , тис.грн.
1	ЛЕП 35 кВ на з/б опорах	4700	5	235	5	235	470
	ВРП 35 кВ	420	15	63	5	21	84
	2 х ТМН-10000/35	2000	15	300	5	100	400
Всього							954

Розрахунок збитку від перерви електропостачання

$$Y = Y_0 P_{cp} T_a = 21 \cdot 3,37 \cdot 0,03134 = 2,22$$

Результати проведених вище розрахунків заносимо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5. Техніко – економічні показники розглянутих схем

Показники схеми	Варіанти (тис. грн)	
	I	II
Капітальні вкладення у схему	18275	7120
Поточні витрати по схемі	1857,5	954
Вартість втрат електроенергії	907,33	1937,89
Збитки	3,65	2,22
Приведені витрати	4961,48	3748,51

4. Компенсация реактивной мощности

Навантаження на стороні 0.4 кВ:

$$P_H = 4244 \text{ кВт}$$

$$Q_H = 3810 \text{ квар}$$

Навантаження на стороні 10 кВ:

$$P_B = 2880 \text{ кВт}$$

$$Q_B = 1699 \text{ квар}$$

Сумарне навантаження по заводу:

$$P_p = P_B + P_H + \Delta P_{\text{тр}} = 8833 + 2880 + 72 = 11785 \text{ кВт}$$

$$Q_p = Q_B + Q_H + \Delta Q_{\text{тр}} = 1699 + 3810 + 347 = 5856 \text{ квар}$$

$$\text{де } \Delta P_{\text{тр}} = 72 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 347 \text{ квар}$$

Реактивна потужність, яка передається від енергосистеми:

$$Q_e = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi_z = 11785 \cdot 0,15 = 1767,7 \text{ квар}$$

Реактивна потужність, яку треба компенсувати:

$$Q_{\text{ку}} = Q_p - Q_e = 5856 - 1767,7 = 4088 \text{ квар}$$

Визначення мінімальної кількості трансформаторів:

						Арк.

$$N_0 = P_H / (K_z \cdot S_{H\text{ тр}}) = 4244 / (0,7 \cdot 1000) = 6,1$$

Приймаємо $N_0 = 7$

Надалі розглядаються варіанти при кількості трансформаторів
 $N = N_0, N = N_0 + 1, N = N_0 + 2$

I-й Варіант $N = N_0 = 7$ тр-рів

Реактивна потужність, передавана із мережі 10 кВ до мережі до 1 кВ при встановленні мінімальної кількості N трансформаторів:

$$Q_n = \sqrt{(N \cdot K_z \cdot S_{ном})^2 - P_H^2} = \sqrt{(7 \cdot 1000 \cdot 0,7)^2 - 4244^2} = 2449 \text{ кВар}$$

$$Q_{KH} = Q_H - Q_{\Pi} = 3810 - 2449 = 1361 \text{ квар}$$

Потужність КП на стороні 10 кВ:

$$Q_{KB} = Q_r - Q_{KH} - Q_e = 5856 - 1361 - 1768 = 2727 \text{ кВар}$$

Якщо враховувати потужності синхронних двигунів 10 кВ:

То у цьому варіанті на стороні 10 кВ встановлення БК взагалі не потрібне.

Розрахунок 2-х інших варіантів $N = N_0 + 1, N = N_0 + 2$ виконується аналогічно вказаному вище.

Розрахункові витрати на компенсацію реактивної потужності:

$$Z_1 = E_H \cdot (K_{KH} + K_{KB} + K_{КТП}) + (\Delta P_{KH} + \Delta P_{KB} + \Delta P_{ТП}) \cdot C_o \cdot \tau =$$

$$= 0,12 \cdot (16942 + 638000) + (3,792) \cdot 6,58 \cdot 3904 = 76291,04 \text{ грн.}$$

Результати зазначених розрахунків наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 Баланс реактивної потужності

Показник	Варіант		
	1	2	3
Потужність компенсуючих пристроїв в мережі 0,4 кВ	1361	1361	1361
Потужність компенсуючих пристроїв в мережі 10 кВ	0	0	0
Генерація реактивної потужності СД	0	0	0
Споживання реактивної потужності від енергосистеми	1768	1768	1768
Всього по балансу	4088	4088	4088
Сумарні затрати на компенсацію	76291	79350	82123

Таблиця 4.2. Вибір місця розташування та потужностей батарей конденсаторів на стороні 0,4 кВ

ТП	n	P_p	Q_p	Q_{np}	$Q_{кп}$	$Q_{кп(ст)}$	$Q_p - Q_{кп}$	K_3	S_p	Тип і потужн. БСК
ТП № 1	2	1 490	857	0	857	836	21	0,75	1490,31	536, 300
ТП № 2	2	1 474	1 414	0	1 414	1 407	7	0,74	1474,49	2x536, 335
ТП № 3	2	1 866	632	0	632	635	-3	0,93	1866,00	335, 300
ТП № 4	1	767	704	0	704	702	2	0,77	766,71	402, 300

5. Трансформаторні підстанції

Вибір трансформаторів ГПП

На ГПП передбачаємо встановити 2-х трансформаторів з номінальною потужністю $S_H = 10000$ кВА кожен, напругою 35 /10 кВ.

Обираємо трансформатор типу ТДН- 10000/35-73У3 з параметрами $R_K = 70$ кВт; $P_{xx} = 13,5$ кВт; $U_{K3} = 8,0\%$.

Вибір цехових ТП здійснюємо у вигляді таблиці (табл. 5.1)

Таблиця 5.1. Вибір цехових трансформаторних підстанцій (ТП)

№ ТП	К-сть	$S_{роз},$ кВА	Марка	K_3	$S_{ном} > S_p/K1$	$S_{ном} > S_p/K2$
ТП-1	2	1490,3	ТМ-1000- 10/0,4	0,75	1380,0	1065
ТП-2	2	1474,4	ТМ-1000- 10/0,4	0,74	1365,0	1053
ТП-3	2	1866,10	ТМ-1000- 10/0,4	0,83	1728,	1333
ТП-4	1	766,72	ТМ-1000- 10/0,4	0,77	710,0	548

*Обрана нами потужність цехових трансформаторів ТП ще обов'язково має перевірятися щодо їх аварійного перевантаження (формула 5.1)

$$S_{доп} = 1,4 S_{ном} \geq S_{ав} \quad (5.1)$$

6. Розрахунок струмів коротких замикань і вибір обладнання електроустановок та силових мереж системи електропостачання

6.1. Розрахунок струмів коротких замикань

Складається однолінійна схема, що включає всі джерела живлення, які беруть участь у живленні місця КЗ, та усі елементи системи електропозивання (трансформатори, лінії електропередач, реактори тощо).

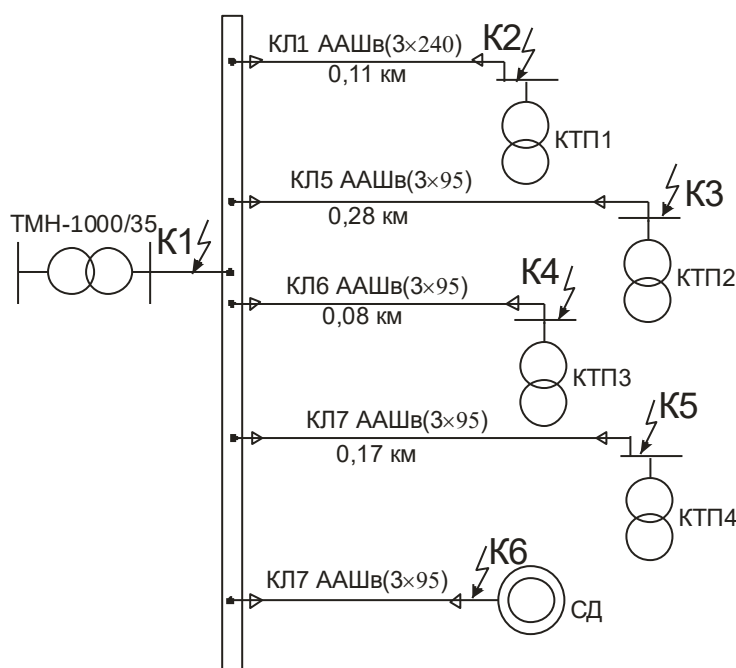


Рис.6.1. Розрахункова схема мережі приведена для розрахунку струмів короткого замикання

Після цього створюється схема заміщення (рис 6.2), в якій всі елементи замінюються опорами та індуктивностями, які приведені до певних базових умов.

Як правило визначають такі величини як періодична складова струму КЗ (6.1) також ударний струм (6.2).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{п0} = I'' = \frac{E_{\Sigma}''}{\sqrt{3} \cdot X_{PE3}}, \quad (6.1)$$

$$i_{yД} = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_a}} \right), \quad (6.2)$$

де
$$T_a = \frac{X_{PE3}}{\omega I''_{PE3}}, \quad (6.3)$$

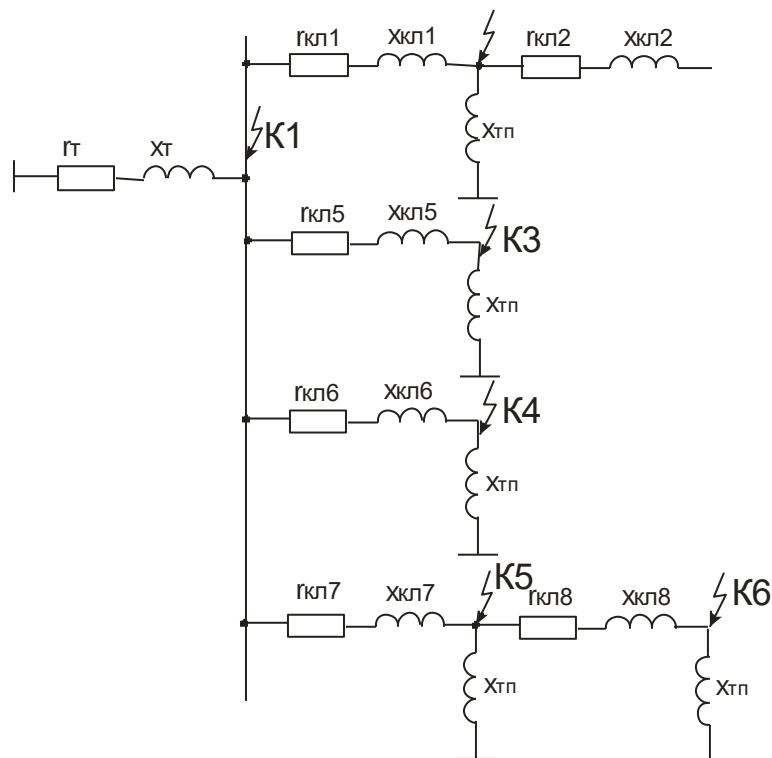


Рис.6.2. Схема заміщення мережі приведена для розрахунку струмів КЗ

Розрахунок здійснюємо за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel. Результати розрахунку знаходяться в таблиці 6.1.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1. Струми КЗ в характерних точках СЕПП

№ т. КЗ	R, Ом	X, Ом	I _к ", кА	T _а , с	K _у	i _{уд} , кА
1	2,791	1,816	19,941	0,0049	1,130	31,858
2	0,149	1,183	5,326	0,0253	1,674	12,605
3	0,273	1,201	5,156	0,0140	1,490	7,682
4	0,273	1,201	5,156	0,0140	1,490	7,682
5	0,323	1,208	5,078	0,0119	1,433	7,274
6	0,323	1,208	5,078	0,0119	1,433	7,274

6.2. Вибір струмопровідних пристроїв силових мереж

Вибираємо переріз жил кабелів згідно літературного джерела [10] за економічною густиною струму.

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} \quad (6.4)$$

де $j_{ек}=1,4 \text{ А/мм}^2$

Перевіряємо за наступними умовами:

$$1. I_{роб.форс.} \leq I_{доп} \quad (6.5)$$

$$2. F_{min} \geq \frac{\sqrt{B_k}}{C} \quad (6.6)$$

$$C=91 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$$

В якості прикладу розглянемо вибір кабельної лінії до ТП 1.

Розрахункова потужність на ТП1:

$$S_p = 1781 \text{ кВА}$$

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{1781}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10.5} = 41.59 \text{ А}$$

Струм в аварійному режимі:

$$I_{p.ас} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 41.59 = 83.17 \text{ А}$$

Економічна щільність струму:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{41.59}{1.1} = 37.806$$

Термічний імпульс:

$$B_k = I_{КЗ}^2 (t_{відкл} + T_a) = 12.683^2 (0.1 + 0.0187) = 19.09 \text{ кА}^2\text{с}$$

Мінімальний переріз кабелю згідно термічної стійкості:

$$F_{тер} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{19.09 \cdot 10^6}}{94} = 46.48 \text{ мм}^2$$

Обираємо кабель ААШВ – 3 х (3 х 95). $I_{доп} = 155.2 \text{ А}$

Коефіцієнт прокладання кабелю $K_n = 0.92$.

Перевіряємо кабель по умові допустимого струму навантаження:

$$I_p = 41.59 < K_n I_{доп} = 0.92 \cdot 155.2 = 142.6 \text{ А}$$

Таблиця 6.1. Вибір кабелів 10 кВ підприємства

№ КЛ	S_p , кВА	n	I_p , А	$I_{р.ав}$, А	$F_{ек}$, мм ²	Марка кабеля	$I_{доп}$, А
КЛ 1, 2	1512,64	2	41,587	83,17	37,81	ААШВ-2 х (3 х 95)	155,2
КЛ 3,4	1495,63	2	41,119	82,24	37,38	ААШВ-2 х (3 х 95)	155,2
КЛ 5,6	2038,00	2	56,03	112,1	50,94	ААШВ-2 х (3 х 95)	155,2
КЛ 7	777,84	1	42,77	85,54	38,88	ААШВ-1 х (3 х 95)	155,2

6.3. Вибір електрообладнання

Вибір вимикачів (комутаційних апаратів)

Вибір комутаційних апаратів здійснюється згідно наступних параметрів:

Напруги
$$U_{вст} \leq U_{ном} \quad (6.7)$$

Струму
$$I_{ном} \leq I_{ном}; I_{роб.форс} \leq I_{ном} \quad (6.8)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{n.\tau} \leq I_{\text{відк.ном}} \quad (6.9)$$

Здатності на відключення $i_{a.\tau} \leq i_{a.ном} = \sqrt{2} * I_{\text{відк.ном}} * (1 + \beta_n)$ (6.10)

За ударним струмом $i_y \leq i_{\text{вкл}}; I_{n.o.} \leq I_{\text{вкл}}$ (6.11)

За термічною стійкістю $B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}$ (6.12)

На високій стороні ГПП приймаємо до встановлення елегазовий вимикач типу LTB-145D1/B

Параметри вимикача:

$$U_{ном} = 110 \text{ кВ}$$

$$I_{TH} = 20 \text{ кА}$$

$$U_{\text{вх.роб}} = 126 \text{ кВ}$$

$$I_{\text{дин.ст}} = 52 \text{ кА}$$

$$I_{ном} = 3150 \text{ А}$$

$$t_{\text{відкл.вл}} = 0.022 \text{ с}$$

$$I_{\text{відкл}} = 40 \text{ кА}$$

$$t_{\text{відкл.заг}} = 0.04 \text{ с}$$

$$t_{TH} = 3 \text{ с}$$

$$\beta_n = 0.35$$

На ГПП підприємства, де проектується наша система електропостачання приймаємо до застосування комірکی розподільчі КРП типу КУ-10Ц, які комплектуються вакуумними вимикачами ВР-2.

На вводах ГПП підприємства

Таблиця 6.2. Вибір ввідних вимикачів 10 кВ.

Параметри мережі	Розрахункові формули	Параметри вимикача
10,5 кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$	11 кВ
943 А	$I_{роб\text{ форс}} \leq I_{ном}$	2500,0 А
5,3 кА	$I_K \leq I_{динс}$	102,0 кА
12,6 кА	$i_y \leq 1,8 \cdot \sqrt{2} * I_{динс}$	259,6 кА
5,33 кА	$I_{n\tau} \leq I_{ном\text{ відкл}}$	31,5 кА
$\sqrt{2} \cdot 5.33 + 0.7083$	$\sqrt{2} * I_{номг} + i_{a\tau} \leq \sqrt{2} \cdot I_{н\text{ відкл}} (1 + \beta_n)$	$\sqrt{2} \cdot 31.5 \cdot (1 - 0.4)$
2,42	$B_k \leq I_{тер}^2 * t_{тер}$	4800

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір трансформаторів власних потреб (ТВП)

Потужність трансформаторів власних потреб (ВП) вибирається згідно самого навантаженням власних потреб із урахуванням їхніх коефіцієнтів завантаження й попиту.

Розрахункове навантаження для ТВП:

$$S_{розр} = K_C \cdot \sqrt{(P_{встп}^2 + Q_{встп}^2)}, \quad (6.16)$$

$K_C = 0,8$ - коефіцієнт попиту

Умовою вибору потужності ТВП є:

$$S_{тр} \geq \frac{S_{розр}}{1,4} \quad (6.17)$$

Таблиця 6.4. Навантаження власних потреб на ГПП

№ п/п	Споживачі	$P_{ном},$ кВт	n	$P_{сум},$ кВт	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	$P_{уст},$ кВт	$Q_{уст},$ кВар
1	Електродвигуни обдуву трансформаторів номінальною потужністю	7	4	28	0,8	0,75	28	21
2	Пристрої підігріву вимикачів 35 кВ	1,75	3	5,25	0,97	0,25	5,25	1,32
3	Пристрої підігріву комірок КРП	1,15	27	31,1	0,97	0,25	31,1	7,78
4	Опалення і освітлення приміщення оперативного персоналу	5,5	3	16,5	0,97	0,25	16,5	4,14
5	Зовнішнє освітлення	1,75	4	18	0,97	0,25	18	4,52
	Всього						98,8	38,7

Споживачі власних потреб споживають наступну потужність:

$$S_{\text{уст}} = \sqrt{P_{\text{уст}}^2 + Q_{\text{уст}}^2} = \sqrt{98.8^2 + 38.7^2} = 106 \text{ кВА}$$

Обираємо трансформатор ВП ТМЗ – 63/10 із наступними параметрами:

$$S_{\text{ном}} = 63 \text{ кВА}, U_{\text{BH}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{HH}} = 0.4 \text{ кВ}$$

$$K_3 = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{ном}}} = \frac{84.9}{2 \cdot 63} = 0.67$$

7. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ РОБОТИ

НЕСИМЕТРИЧНА СХЕМА ПІДСИЛЕННЯ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

ВСТУП

Сучасний етап розвитку залізничного транспорту нерозривно пов'язаний із впровадженням швидкісного руху на вже існуючих та функціонуючих електрифікованих магістралях. Це створює безпрецедентно складні умови для експлуатації наявних пристроїв електропостачання, головним чином через те, що для нормальної роботи швидкісних локомотивів категорично не допускається зниження напруги на їхніх струмоприймачах нижче критичної позначки у 2900 В. Забезпечити такі жорсткі параметри неможливо без фундаментального перегляду традиційних підходів, пошуку абсолютно нових структурних та схемотехнічних рішень як для всієї системи тягового електропостачання, так і для її окремих вузлів. Окрім того, необхідний глибокий попередній аналіз процесів перетворення електричної енергії, яка витрачається на перевезення. Доведено, що за умови збереження базового рівня напруги 3,0 кВ, найбільш дієвим способом радикально підвищити якість енергопостачання є перехід від застарілої системи централізованого живлення до розподіленої. У такій конфігурації контактна мережа отримує живлення від локальних перетворювальних (підсилюючих) пунктів, що підключаються до високовольтних поздовжніх ліній електропередачі (змінного або постійного струму). Ця стратегія модернізації тягової мережі відрізняється технічною простотою, але при цьому дає змогу істотно зменшити переріз дорогих мідних проводів, знизити втрати електроенергії та надійно утримувати потрібний рівень напруги. Саме тому наукові пошуки у напрямку нової схемотехніки є вкрай актуальними.

7.1. НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НА ПОСТІЙНОМУ СТРУМІ

Ключовим бар'єром для організації швидкісного сполучення на існуючих залізницях постійного струму є сувор вимога щодо підтримання напруги на струмоприймачі поїзда на рівні не менше 2900 В. Експлуатація діючих немодернізованих систем фізично не здатна задовольнити цю вимогу, тому необхідні комплексні заходи з їх реконструкції.

Вдосконалення енергетичних магістралей може відбуватися за кількома технічними напрямками. Зокрема, науковці виділяють такі ефективні методи:

- Облаштування пунктів паралельного з'єднання для перерозподілу струмів;
- Фізичне збільшення площі перерізу магістральних проводів та побудова додаткових (проміжних) тягових підстанцій;
- Впровадження інноваційних блоків розподіленого електроживлення;
- Масова заміна старих шестипульсних випрямлячів на сучасні агрегати з дванадцятьма пульсаціями випрямленої напруги;
- Оптимізація номінальних потужностей перетворювального обладнання;
- Максимальне розширення зон рекуперативного гальмування та впровадження дванадцятипульсних випрямно-інверторних перетворювачів разом із високоефективними згладжуючими фільтрами;
- Монтаж керованих вольтододаткових пристроїв (ВДП) у межах фідерних зон;
- Застосування перетворювальних трансформаторів, здатних плавно регулювати напругу безпосередньо під навантаженням.

Однак найбільший технологічний стрибок та кардинальне підсилення мережі електротяги можливі саме завдяки переходу до систем розподіленого

живлення — тобто до нової архітектури побудови енергосистеми. Найбільш перспективним є розміщення підсилюючих пунктів (ПП) безпосередньо на міжпідстанційних зонах, де вони функціонують як децентралізовані джерела. Оскільки такі пункти мають лише «підживлювати» мережу в критичних місцях, вони не вимагають встановлення потужного великогабаритного обладнання. А якщо їх додатково інтегрувати з джерелами альтернативної енергії, залежність від зовнішніх енергомереж стрімко впаде. Існують також проекти підживлення таких ПП змінним струмом підвищеної частоти (з напівхвильовим налаштуванням).

Економічна доцільність розподілених систем полягає у суттєвій економії матеріалів (тонші проводи), різкому зниженні втрат та підвищенні коефіцієнта використання наявного енергетичного обладнання при одночасному зменшенні його сумарної потужності. Завдяки мікропроцесорному керуванню кожним окремим ПП, система отримує здатність у реальному часі перекидати енергію туди, де вона зараз найбільше потрібна, створюючи справжню «інтелектуальну мережу».

Особливу увагу слід приділити промисловим накопичувачам енергії (ESS). Їх наявність у системі електропостачання — це справжній прорив. Накопичувачі дозволяють «зрізати» піки енергоспоживання, безпечно абсорбувати велетенські обсяги надлишкової енергії від рекуперативного гальмування, стабілізувати навантаження на підстанцію та кардинально зменшити втрати у зовнішніх мережах. Повторне використання накопиченої рекуперованої енергії прямо веде до зменшення встановленої потужності дорогого обладнання підстанцій.

Однолінійна електрична схема тягової підстанції відображає структуру її електропостачання у спрощеному вигляді, де всі елементи системи подані однією лінією. Вона дає узагальнене уявлення про склад і взаємозв'язки основного обладнання, зокрема джерел живлення, трансформаторів, розподільчих пристроїв і ліній. Така схема використовується для аналізу

режимів роботи підстанції, виконання розрахунків та оцінки надійності електропостачання.

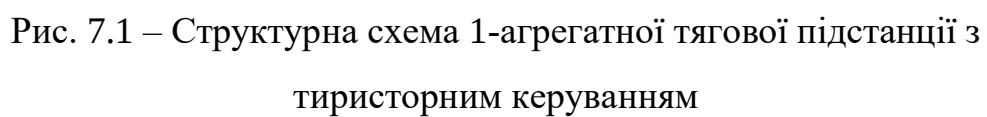
Схема демонструє взаємозв'язки між ключовими елементами системи: основним обладнанням, кількістю перетворювальних установок, їх типами, засобами захисту, точками підключення вимірювальних приладів, а також характеристиками кабельної продукції, матеріалами та габаритами шин. Послідовність розміщення і підключення апаратів у структурній схемі має точно відтворювати реальну конфігурацію.

Дотримання цих вимог дає змогу використовувати схему як основу для формування специфікації обладнання. Для підвищення наочності та зручності сприйняття такі схеми, як правило, виконують в однолінійному вигляді, а однакові за функцією елементи умовно зображають у вигляді прямокутників.

Тягові підстанції поділяються на одноагрегатні (рис. 7.1) та багатоагрегатні (рис. 7.2). У першому випадку резервування забезпечується за рахунок сусідніх підстанцій, які приймають на себе тягове навантаження при відмові основної. Для багатоагрегатних підстанцій підвищення надійності досягається використанням резервних агрегатів і додаткових резервних елементів обладнання.

На тягових підстанціях застосовують наступні види захисту:

- земляний ввід 6 кВ або 10 кВ;
- від пониження напруги на вводах 6кВ або 10 кВ;
- максимальний струмовий (ввід 6кВ або 10 кВ і агрегатів);
- захист від перенапруги;
- контроль ізоляції;
- захист від пробоя між обмотками трансформатора (пробивний запобіжник);
- газовий захист трансформатора;
- баластний захист (від пробоя тиристорів або діодів);
- температурний захист (від перегріву силових трансформаторів).



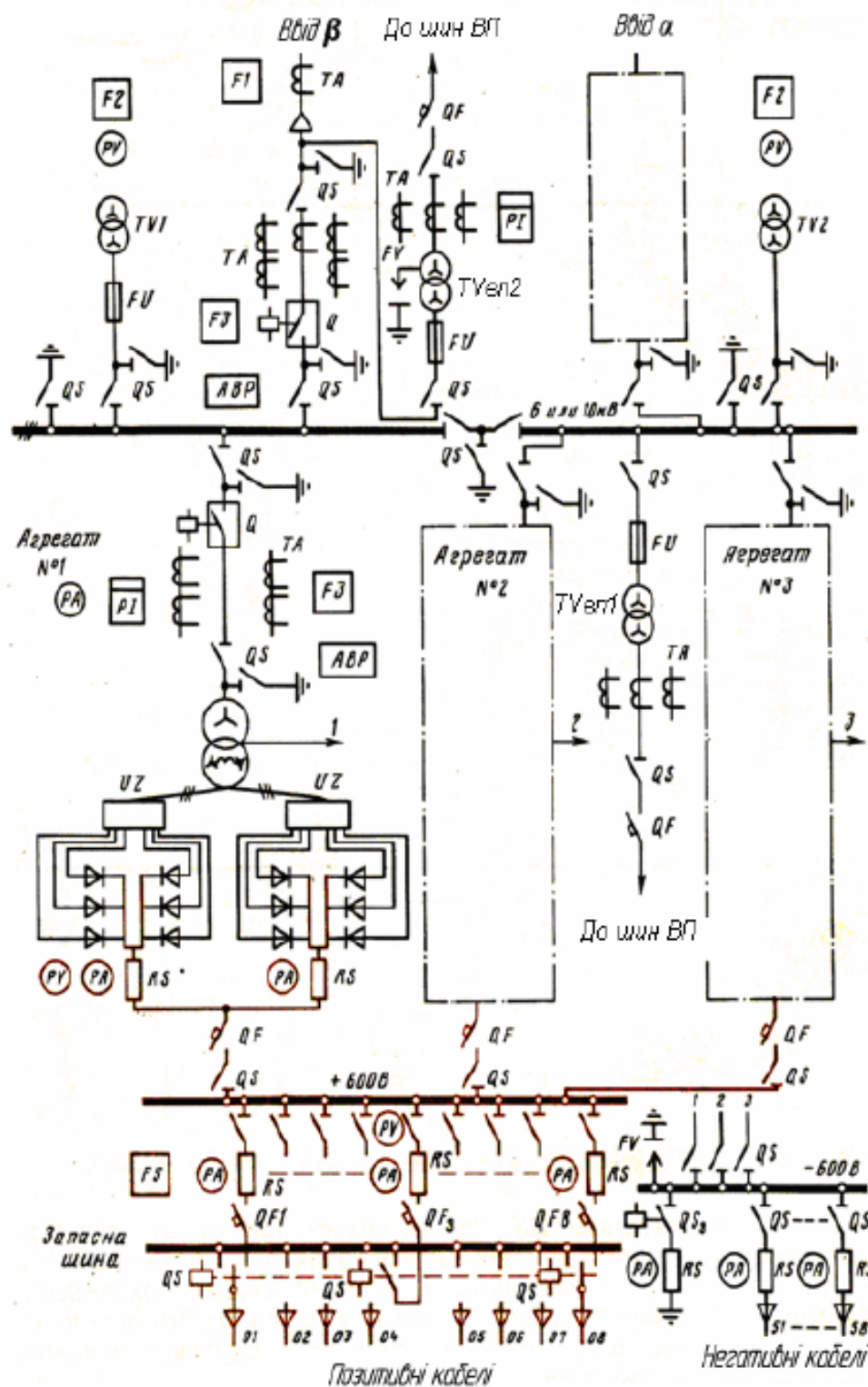


Рис. 7.2 – Електрична схема 3-х агрегатної ТП

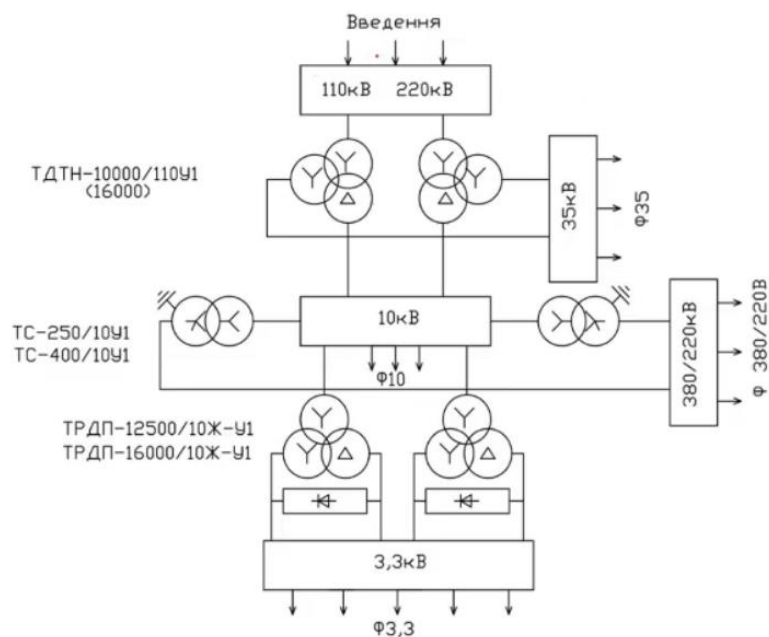


Рис. 7.3 – Структурна схема тягової п/ст постійного струму з 2-х ступінчастою трансформацією

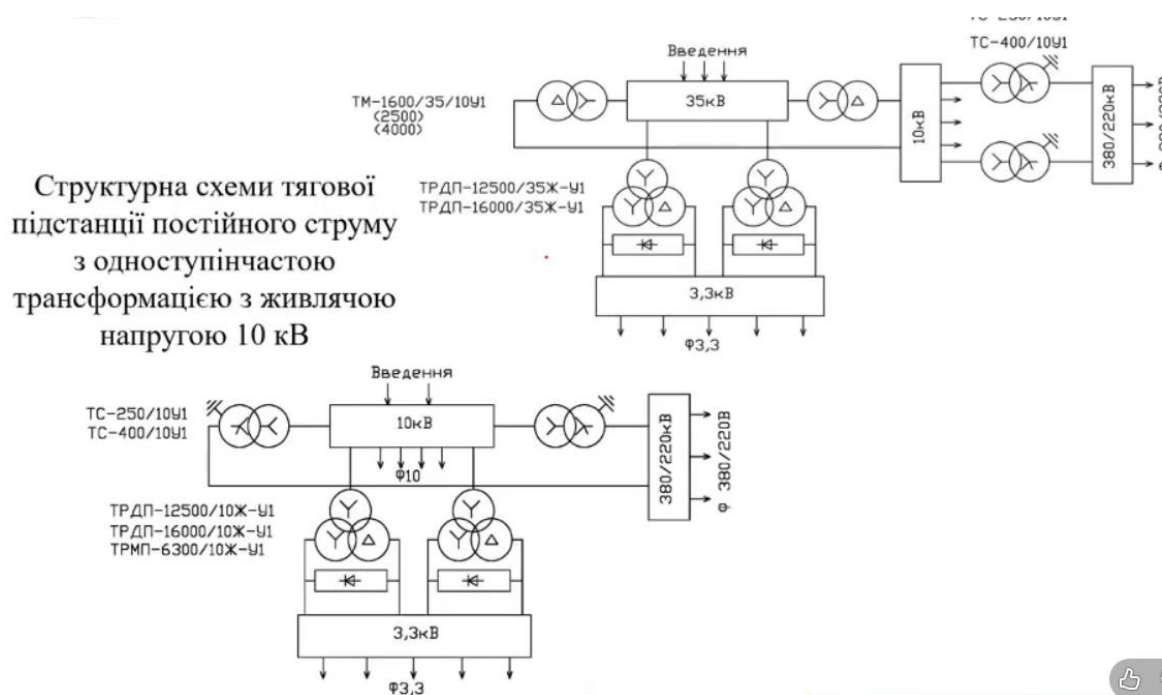


Рис. 7.4 – Структурна схема тягової п/ст постійного струму з одноступінчастою трансформацією напругою 35 кВ

7.2. РЕЖИМИ НАПРУГИ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Проектування та експлуатація сучасної залізничної інфраструктури спирається на глибокий аналіз режимів напруги. Від цього показника безпосередньо залежить усе: з якою швидкістю зможе рухатись поїзд, яку тягу розвиватиме локомотив, чи здолає він крутий підйом, і наскільки довго прослужить енергетичне обладнання.

Режим напруги — це вкрай нестабільна величина, що формується під впливом безлічі чинників. На нього впливає стабільність зовнішньої енергомережі, загальна кількість потягів, що знаходяться на фідерній зоні в конкретний момент, технічні параметри самої мережі та навіть людський фактор — індивідуальна манера керування локомотивом. Своєю чергою, дії машиніста диктуються профілем шляху, масою вагонів, типом електровоза та його професійним досвідом.

Якщо система забезпечує нормований рівень напруги, транспорт рухається із заданою, економічно вигідною швидкістю, що гарантує планову пропускну здатність ділянки, мінімальні втрати та відсутність перегріву обладнання. Але якщо ділянка працює на межі своїх можливостей (у вимушеному режимі), напруга стрімко падає. Підстанції перевантажуються, спрацьовує автоматика, і диспетчери змушені штучно збільшувати інтервали між поїздами, зриваючи графік руху.

Яскравим підтвердженням цієї проблематики є масштабні натурні дослідження, проведені співробітниками кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання». На рисунках 7.5 та 7.6 представлено графіки напруги на шинах 3,3 кВ тягових підстанцій Верхівцеве та Тухля.

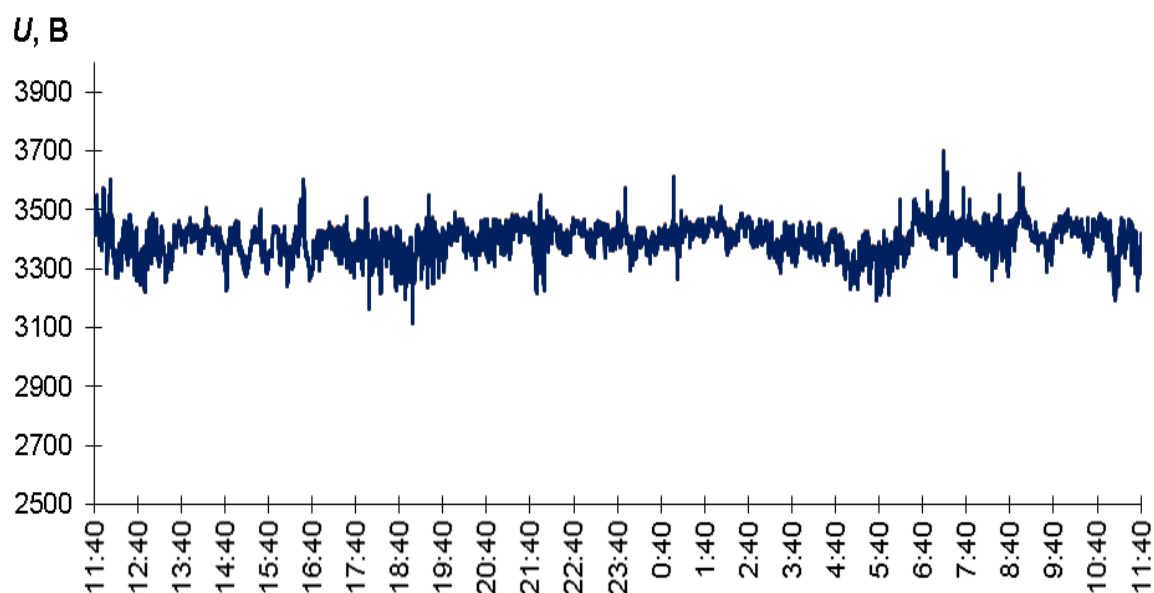


Рис. 7.5. Напруга на шинах 3,3 кВ

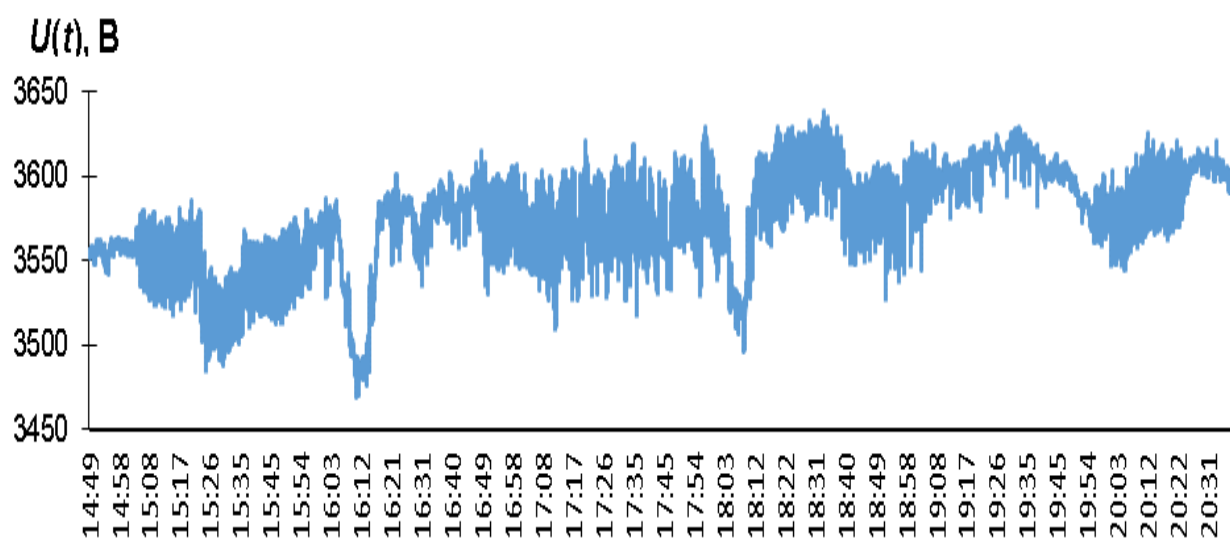


Рис. 7.6. Напруга на шинах 3,3 кВ тягової підстанції

Хоча загальний рівень дещо завищений відносно номіналу, він тримається в рамках нормативів, а діапазон коливань становить відносно безпечні 250 В.

Проте ситуація кардинально змінюється при структурних перемиканнях. Коли підстанцію Ерастівка було переведено в режим поста

секціонування, ділянка Верхівцеве – П'ятихатки опинилася у жорсткому вимушеному режимі. Через зростання довжини міжпідстанційної зони, напруга на шинах колишньої підстанції обвалилася. Як видно з рисунка 7.7, діапазон коливань напруги різко розширився: якщо в режимі підстанції він становив 3185–3600 В, то в режимі поста секціонування просадки сягали критичних значень у коридорі 2600–3780 В.

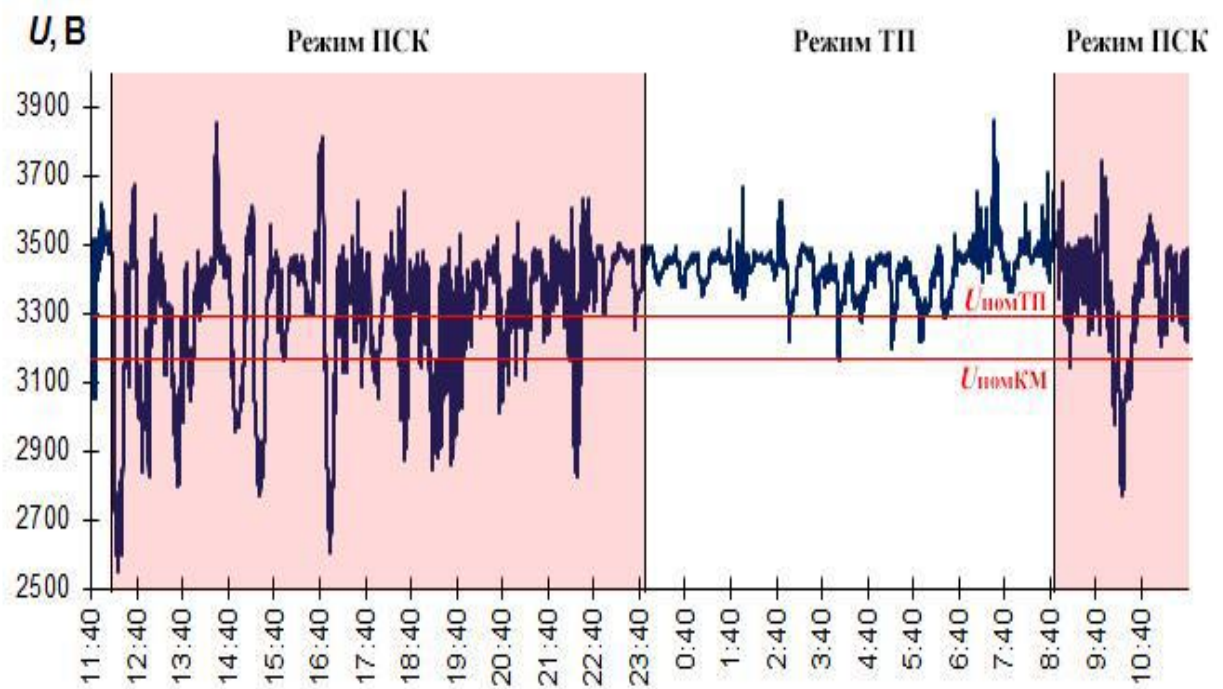


Рис. 7.7. Напруга на шинах 3,3 кВ ТП Ерастівка у вимушеному режимі

Особливою загрозою для стабільності мережі є рух надважких поїздів під тягою надпотужних електровозів. Наприклад, під час експерименту на Придніпровській залізниці фіксувався рух вантажного поїзда масою 6004 тонни, який вели два здвоєні електровози ВЛ11 (загальною потужністю 9,2 МВт). Цей «тандем» висмоктував з контактної мережі струм силою до 3 кА (рис. 7.8). За таких екстремальних навантажень напруга на струмоприймачах миттєво падала далеко за межі дозволених експлуатаційних норм як під час тяги (рис. 7.9), так і під час руху на вибігу (рис. 7.10). Головною причиною таких глибоких просадок часто є неминуче накладання пускових струмів

одного потужного поїзда на струми споживання інших локомотивів, що опинилися з ним на одній міжпідстанційній зоні.

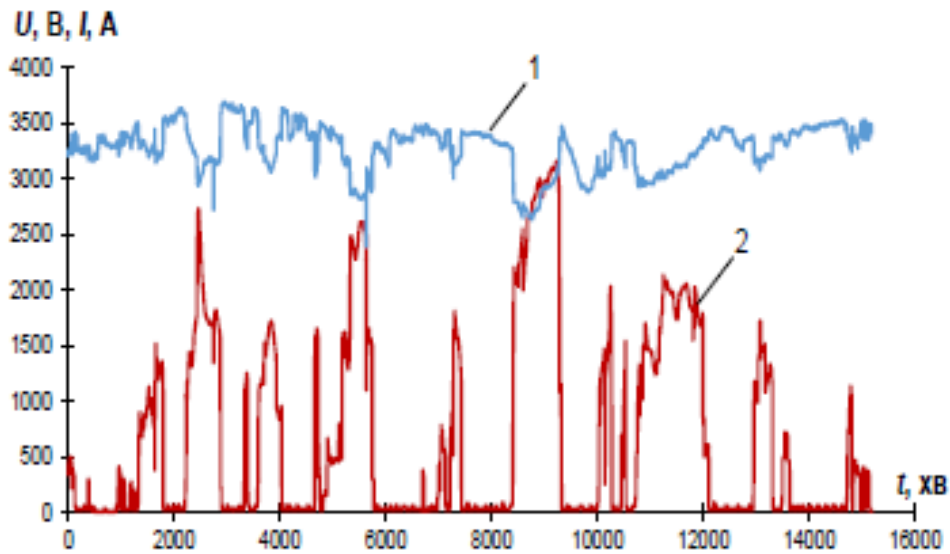


Рис. 7.8. Показники струму і напруги зведеного поїзда:
1 - напруга на струмоприймачах; 2 - споживаний струм

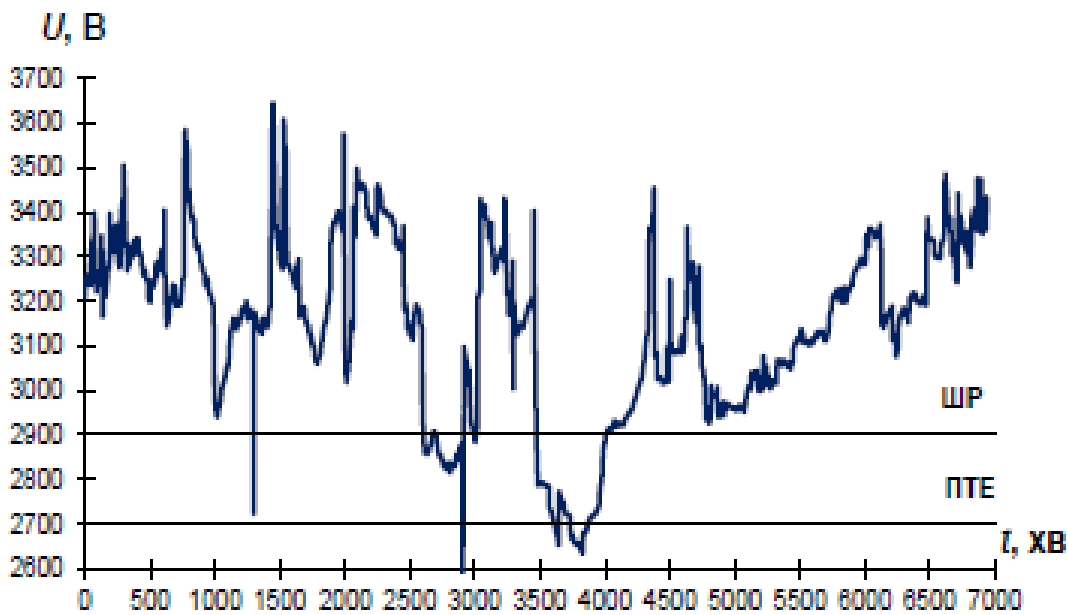


Рис. 7.9. Напруга на струмоприймачах у режимі тяги: ШР норма значення напруги для швидкісного руху; ПТЕ - норма напруги за вимогою ПТЕ

Аналіз осцилограм (рис. 7.6–7.8) демонструє вкрай різкозмінний, «рваний» характер напруги. Максимальні «провали» досягали 545 В під час тяги та 618 В на вибігу. Ці цифри беззаперечно свідчать: без радикального зменшення коливань та звуження діапазону змін напруги, безпечний та економічний швидкісний рух неможливий. Традиційна архітектура тягового електропостачання просто не здатна передати таку кількість енергії на один кілометр колії.



Рис. 7.10. Напруга на струмоприймачах потягу у режимі вибігу

7.3. КІЛЬКІСНА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ У СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПО ЗНАЧЕННЮ НАПРУГИ

Енергетичні процеси у тяговій мережі не є статичними; вони постійно збурюються безліччю факторів: зміною профілю колії, відривами пантографів від дроту на великій швидкості, перехідними процесами під час перемикань та постійною зміною графіків руху. Через це напруга має нестационарний характер. Сильні просадки напруги — це не просто

порушення нормативів, це пряма загроза обладнанню: вони викликають буксування коліс, розриви зчіпних механізмів, виникнення руйнівного кругового вогню на колекторах тягових двигунів, а також різке падіння сили тяги локомотива.

Проблема впливу напруги на пропускну здатність досліджувалася роками. Проте старі методики базувалися на оцінці «середніх» умов або «найбільшої інтенсивності», ігноруючи динамічну природу змін. Ці усереднені цифри не дають жодного розуміння того, як функція напруги поводить себе як випадкова величина. При класичному проектуванні інженери стикаються з серйозними обмеженнями:

- Використовуються три жорсткі рівні: максимальна, мінімальна та середня напруга, хоча в реальності ці значення є випадковими та унікальними для кожного перегону.
- Закон розподілу напруги описати математично неможливо, тому оцінки робляться відносно застарілого нормативу у 3000 В.
- Тягове навантаження є стохастичним, а існуючий нормативний «коридор» допусків напруги (від 2,2 до 3,85 кВ) є настільки широким, що не дозволяє оптимізувати режим руху потяга для економії енергії.

Концептуальним виходом було б знаходження певної вузької «оптимальної напруги», яка б дозволяла проходити ділянку із заданою швидкістю за мінімальних енергетичних втрат. Це дозволило б електрообладнанню локомотивів працювати в ідеальному номінальному режимі. Практично ця ідея була втілена у системі «керованого електропостачання» на Свердловській залізниці, де застосовувалися активні пристрої регулювання. На жаль, на переважній більшості ліній такі засоби відсутні, а дешеві методи підсилення мережі не здатні забезпечити її стійкість.

Будь-яка енергетична чи технічна система мусить бути стійкою (технологічно, організаційно, структурно). Європейська енергетична спільнота оцінює цей показник через «стійкість за кутом» та «стійкість за

напругою» (на противагу старій радянській школі, яка ділила її на «паралельну роботу» та «стійкість навантаження»). Оскільки Україна інтегрується в європейський простір, використання світових методів оцінки є безальтернативним.

Розрахунки стійкості є критично важливими для вибору схем живлення, налаштування релейного захисту та автоматики. Під статичною стійкістю за напругою розуміють здатність системи утримувати номінальні показники на шинах після різноманітних збурень або в післяаварійних режимах. Кількісно вона виражається через коефіцієнт запасу K_U :

$$K_U = \frac{U - U_{кр}}{U_{кр}} \quad (7.1)$$

Укр — це розрахункова критична напруга (зазвичай $0,7 U_{ном}$).

Оперативне управління залізницею серйозно ускладнюється тим, що енергодиспетчери фактично «сліпі» — у них немає інструментарію для оцінки стійкості. Вони бачать лише напругу на підстанції та струм фідерів і намагаються керувати інтервалами руху поїздів «наосліп», виходячи з теплової здатності проводів. Тим часом напруга на струмоприймачах нещадно коливається, і чим потужніший локомотив — тим сильніші ці коливання. Найбільша небезпека від втрати стійкості виникає тоді, коли електровоз входить у режим рекуперативного гальмування.

Оскільки тягова мережа — це складна нелінійна розімкнена система з розподіленими параметрами, її неможливо прорахувати за допомогою класичної теорії автоматичного управління. Її параметри (температура дротів, опір, кількість потягів) змінюються щосекунди. Тому крива запасу стійкості K_U візуально повторює криву самої напруги.

Щоб довести це, було проведено глибокий розрахунок перегону «Ж-В» (обраного через наявність важкого зтяжного підйому та паралельної схеми живлення). Межею стійкості для швидкісного руху було прийнято $K_U < 0,15$

(що відповідає напрузі нижче 3,4 кВ). Аналіз графіків (рис. 7.11–7.12) чітко показав: у процесі подолання перегону локомотивом існують величезні зони, де система абсолютно втрачає стійкість. Отже, підняття напруги — це прямий шлях до підвищення стійкості та зняття обмежень зі швидкості поїздів.

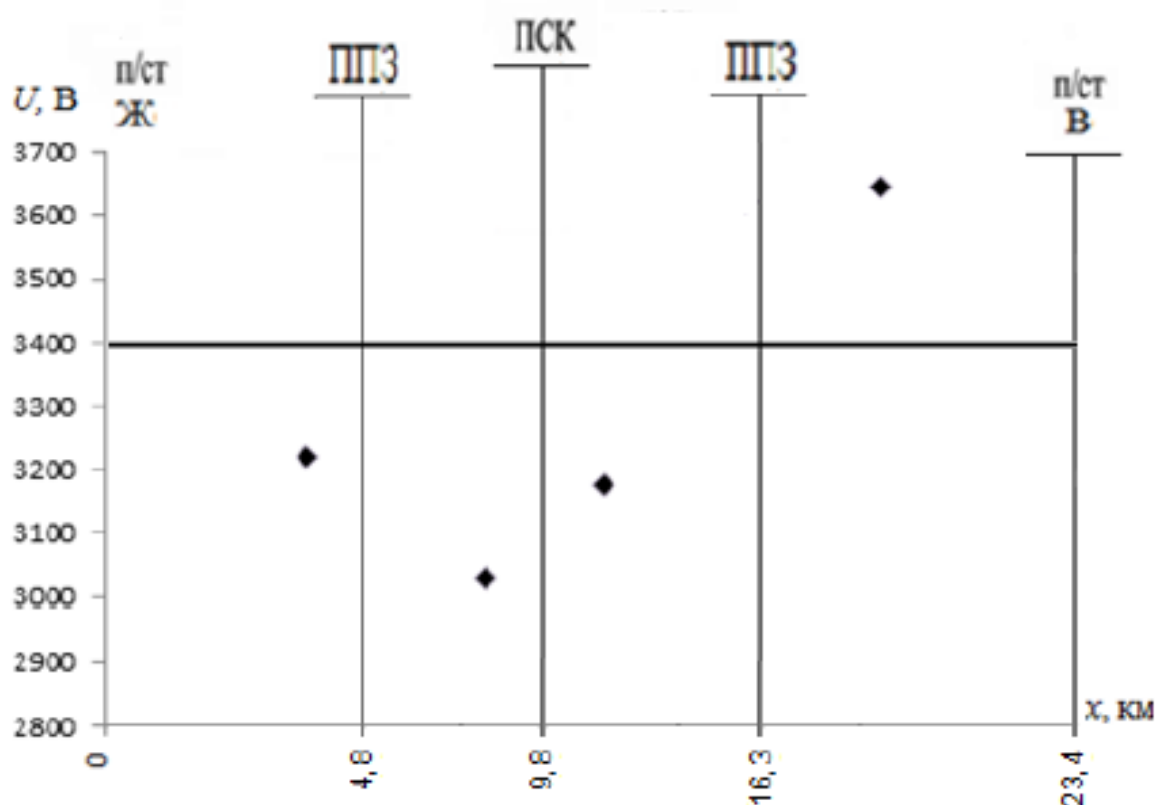


Рис. 7.11. Середня напруга на міжпідстанційній зоні та відхилення напруги

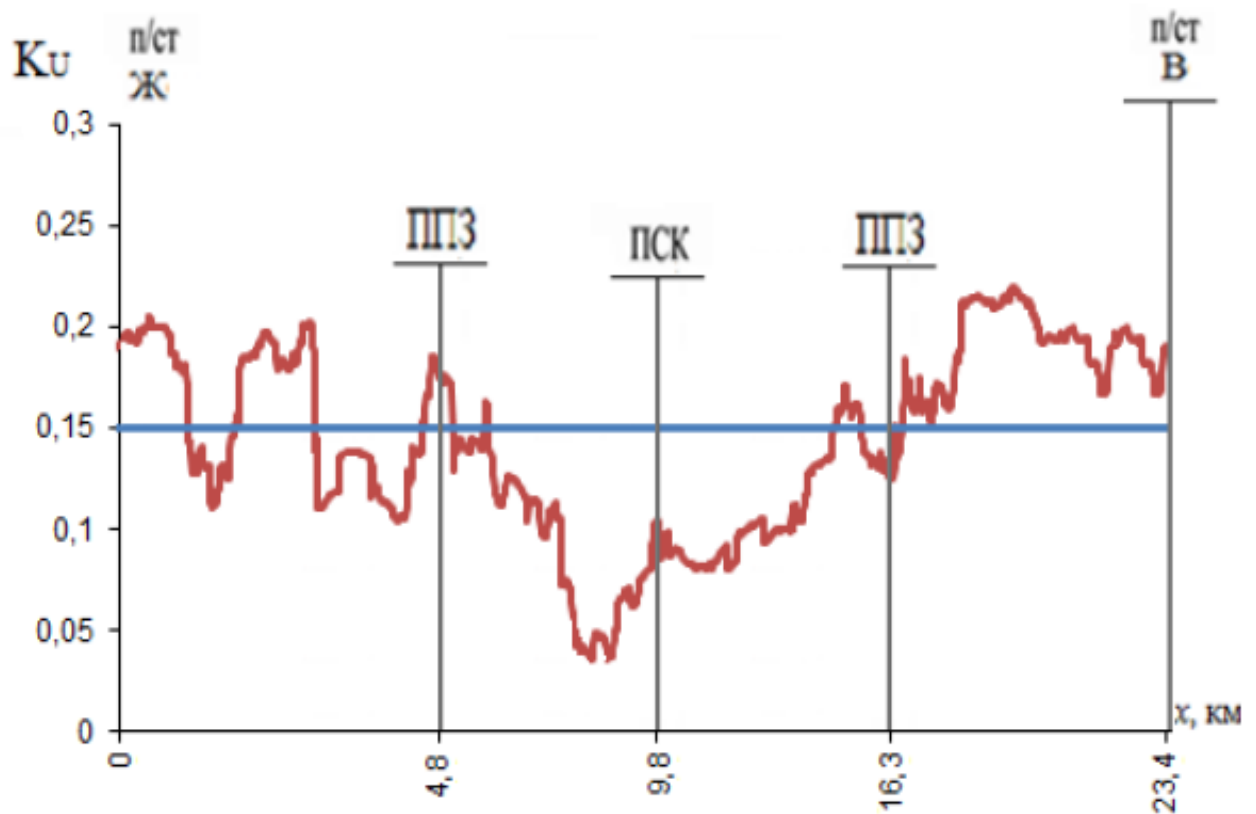


Рис. 7.12. Статична стійкість по напрузі на вказаній ділянці

Додатково було оцінено вплив різних топологій мережі: повної паралельної, вузлової та двосторонньої (довжина ділянки 23,4 км, підвіска М120+2МФ100+А185). Результат виявився невтішним (рис. 7.13): жодна з цих класичних схем не здатна ліквідувати «зони нестійкості». Більше того, ці провальні зони виникають навіть там, де спеціально встановлено пункти паралельного з'єднання та пости секціонування. Висновок однозначний: існуюча архітектура постійного струму вичерпала себе і не годиться для високошвидкісних поїздів.

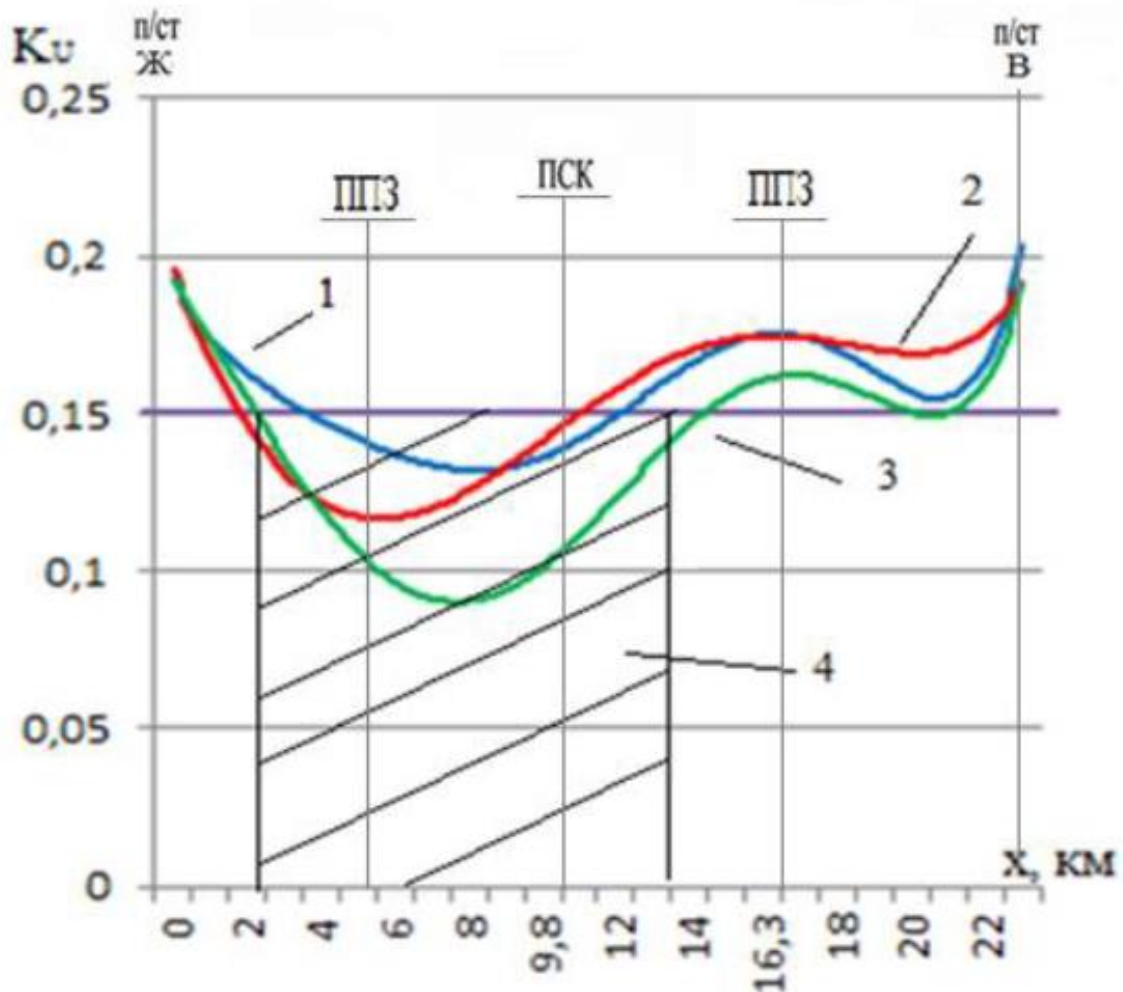


Рис. 7.13. Статична стійкість при застосуванні різних схем живлення

7.4. НЕСИМЕТРИЧНА СИСТЕМА ПІДСИЛЕННЯ ТЯГОВОЇ МЕРЕЖІ ЗАЛІЗНИЦІ

Спираючись на глибокий аналіз зон втрати стійкості, розроблено концептуально нову, несиметричну схему підсилення тягової мережі (візуалізовано на рис. 7.14).

Щоб довести дієвість цієї схеми, було збудовано імітаційну модель із жорсткими граничними умовами:

- Напруга холостого ходу на тягових підстанціях зафіксована на рівні 3600 В.

- Точку встановлення підсилюючого пункту розраховано і локалізовано на позначці 7,3 км перегону.
- Мінімальний поріг напруги (для збереження стійкості $K_U = 0,15$) встановлено на позначці 3335 В.

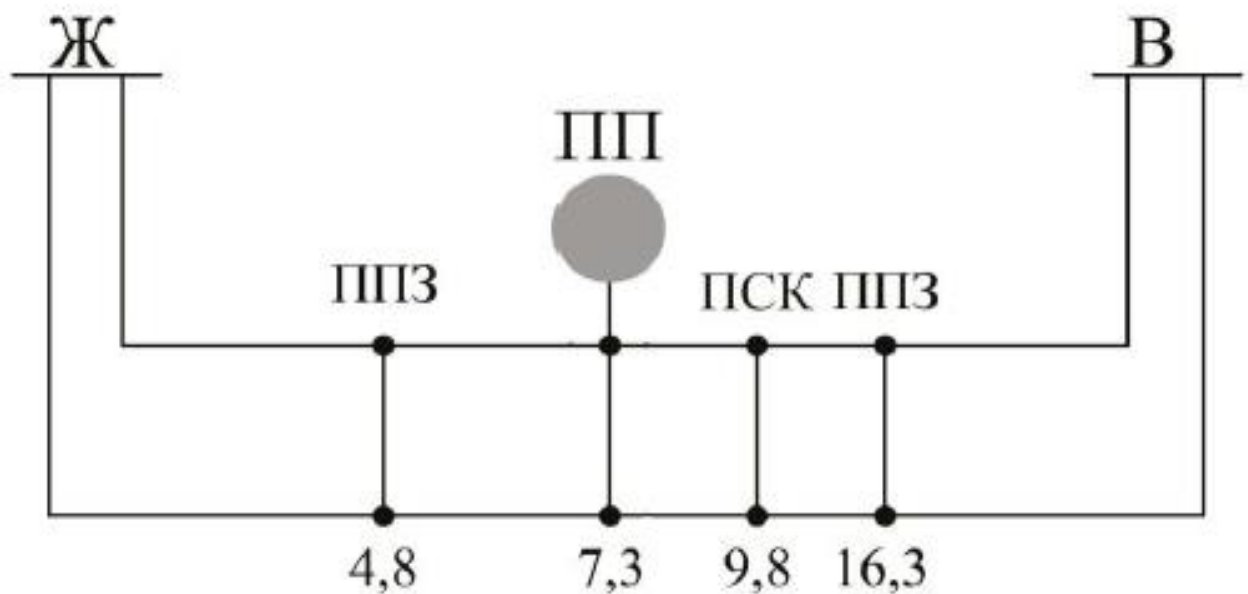


Рис. 7.14. Несиметрична схема підсилення тягової мережі
розрахункової ділянки

Проведення комп'ютерних симуляцій цієї модернізованої електрифікованої ділянки продемонструвало вражаючі результати. Завдяки впровадженню підсилюючого пункту за несиметричною топологією, коефіцієнт запасу стійкості по нарузі перестав падати нижче критичного мінімуму на всій протяжності перегону (рис. 7.15). Відповідно, мінімальне значення напруги безпосередньо на пантографі локомотива також залишалося в межах безпечної зони (рис. 7.16). При цьому система працює дуже ефективно: пікове навантаження (потужність) самого підсилюючого пункту становить скромні 250 кВт, що свідчить про високу економічну доцільність проекту.

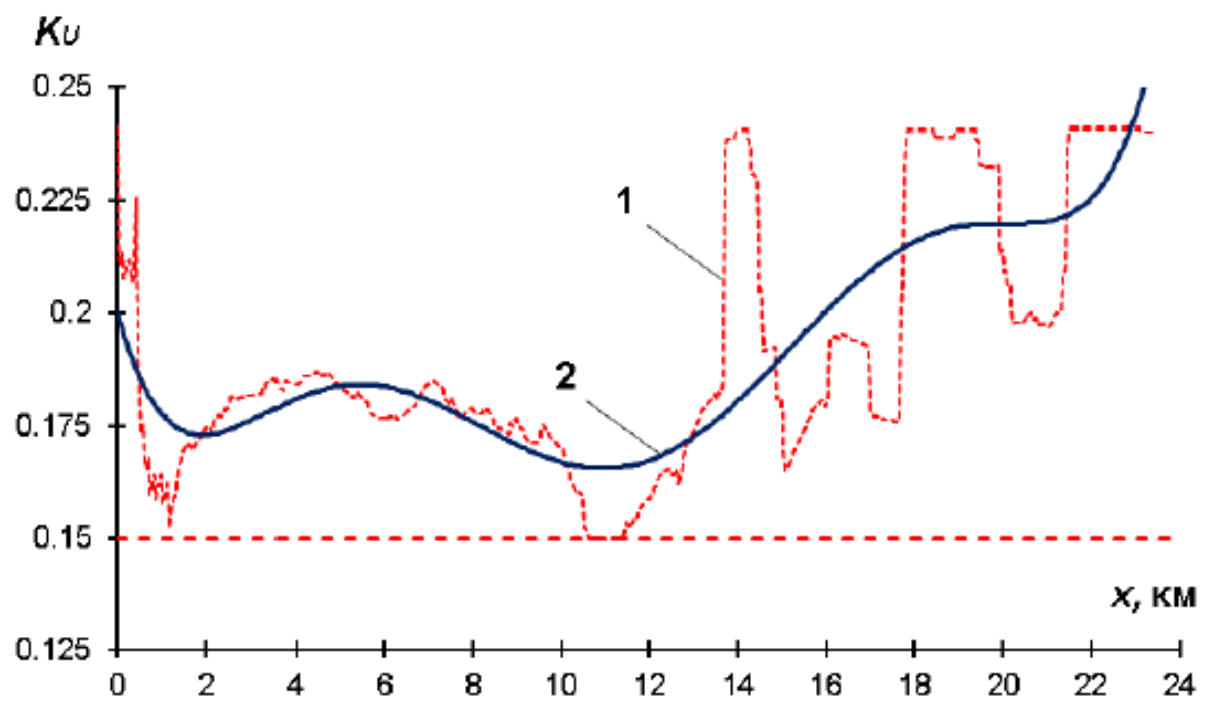


Рис. 7.15. Коефіцієнт стійкості за напругою:
1 - розрахункова крива; 2 - апроксимована крива

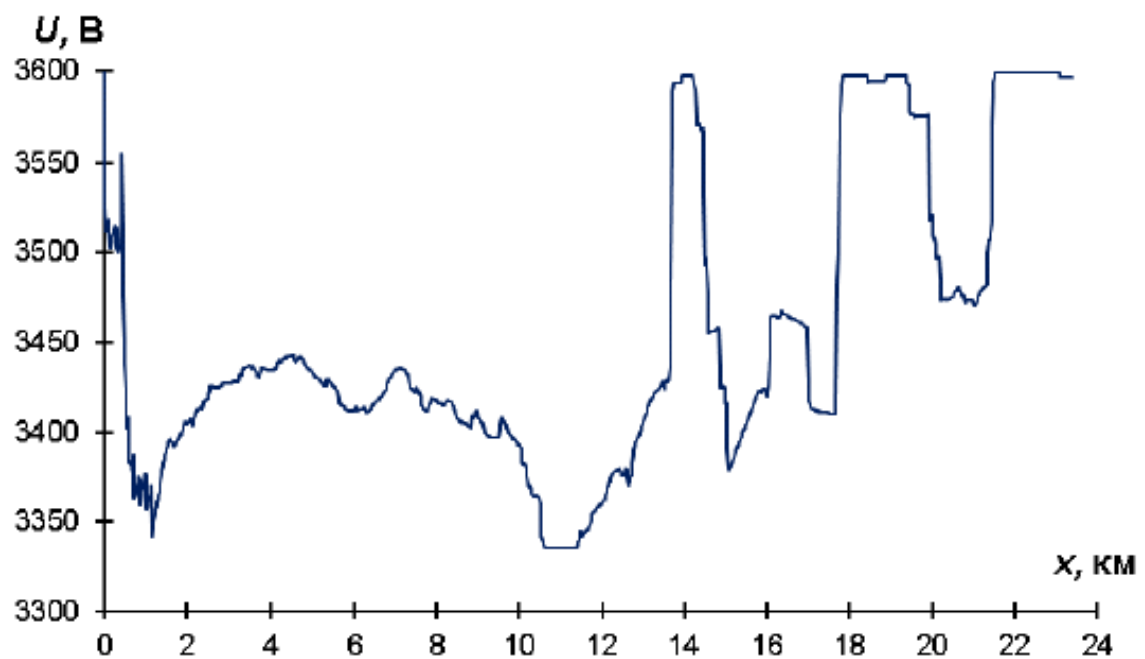


Рис. 7. 16. Напруга на струмоприймачах ЕРС

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ

Глобальний аналіз доводить, що наявні централізовані системи тягового електропостачання (особливо на лініях постійного струму 3 кВ у великих транспортних вузлах) фізично не спроможні забезпечити потрібну провізну та пропускну здатність для сучасного інтенсивного руху. Необхідність радикально підвищувати енергетичні резерви мереж диктується вимогами надійності, безперебійності живлення, стійкості до непередбачуваних збурень та мінімізації втрат.

Дослідження підтверджують, що розподілені архітектури живлення значно перевершують централізовані аналоги за всіма техніко-економічними критеріями. Крім того, саме децентралізовані вузли дозволяють безперешкодно інтегрувати в систему відновлювальні джерела енергії. Проте лише самого переходу на розподілену систему буває недостатньо: експериментальні розрахунки показали, що навіть вона іноді втрачає стійкість та допускає надмірні втрати потужності при пікових високошвидкісних навантаженнях.

Оцінка режимів роботи через призму «стійкості по напрузі» є найважливішим інструментом для грамотного планування потужностей і гарантування безпеки на залізниці сьогодні і в майбутньому.

Як остаточне вирішення проблеми, була розроблена та успішно протестована інноваційна схема несиметричного підсилення тягової мережі. Її застосування дозволяє повністю усунути просадки напруги при русі швидкісних поїздів, гарантувати нормовану статичну стійкість та звести до мінімуму супутні втрати електроенергії.

Окремо слід відзначити доцільність комплексного підходу до модернізації тягових підстанцій, який передбачає не тільки зміну схем живлення, але й оновлення силового обладнання, систем релейного захисту та автоматики. Такий підхід забезпечує довгостроковий ефект і підвищує інвестиційну привабливість проєктів.

Крім того, результати дослідження підтверджують, що підвищення надійності електропостачання безпосередньо впливає на пропускну здатність залізничної інфраструктури, що є критично важливим в умовах зростання обсягів перевезень і розвитку високошвидкісного руху.

У підсумку, запропоновані технічні рішення створюють основу для формування енергетично ефективної, надійної та гнучкої системи тягового електропостачання нового покоління, здатної відповідати сучасним і перспективним вимогам транспортної галузі.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи було успішно вирішено комплексне інженерне завдання з проектування надійної та енергоефективної системи електроспоживання вагоноремонтного заводу, а також досліджено питання оптимізації тягової мережі.

За підсумками проведених розрахунків та прийнятих технічних рішень можна зробити наступні висновки:

1. Оптимізація внутрішньозаводського живлення: На основі детального аналізу технологічних процесів та характеристик споживачів визначено розрахункові електричні навантаження цехів і підприємства в цілому. Це дозволило обрати оптимальну кількість та потужність цехових трансформаторних підстанцій із забезпеченням необхідного резервування для споживачів відповідних категорій надійності.

2. Забезпечення надійності та безпеки: Виконані розрахунки струмів короткого замикання стали базою для коректного вибору перерізів кабельних ліній, а також сучасної захисної і комутаційної апаратури. Спроектована система гарантує селективність спрацювання захисту, високий рівень електробезпеки та захист обладнання від аварійних режимів.

3. Енергозбереження та якість електроенергії: Передбачені заходи з компенсації реактивної потужності дозволяють розвантажити живильні мережі, зменшити втрати електроенергії та підвищити техніко-економічні показники роботи підприємства.

4. Оптимізація тягової мережі (Спецрозділ): Розроблена схема підсилення в системі тягового електропостачання постійного струму є ефективним інструментом для покращення параметрів зовнішньої інфраструктури. Запропоновані технічні рішення дозволяють стабілізувати рівень напруги на струмоприймачах рухомого складу, мінімізувати втрати енергії в тяговій мережі та суттєво підвищити пропускну і провізну здатність електрифікованої ділянки.

Таким чином спроектована система електроспоживання вагоноремонтного заводу в поєднанні з рішеннями щодо підсилення системи тягового електропостачання створює єдиний, технічно обґрунтований комплекс. Реалізація запропонованих проєктних рішень забезпечить безперебійність технологічних процесів ремонту рухомого складу, підвищить загальну енергоефективність підприємства та сприятиме стабільній роботі залізничної інфраструктури.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехнічні системи електроспоживання / [Плешков П.Г., Зінзура В.В., Гарасьова Н.Ю., Котиш А.І., Величко Т.В.]; – М.-во освіти і науки України, Центральноукр. Нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив –Систем», 2021. – 209 с.
2. Шкрабець Ф.П., Плешков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник –Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010. – 408 с.
3. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
4. Мілих В.І. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків: ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
5. Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Котиш А.І. Електропостачання промислових підприємств: Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. - Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2007. – 386 с.
6. Надійність електроенергетичних систем: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Казанський. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 67 с.
7. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. Навчальний посібник. Видавець Лисенко В.Ф., м.Кропивницький, 2020р. – 272 с.
8. Черемісін М. М., Мороз О. М., Єгоров О. Б., Швець С. В. Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. — Харків: ТОВ "В справі", 2016. — 260 с.
9. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2013. – 533 с.
10. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво «Форт», 2017. - 760 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник. К.: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.

12. Котиш А.І. До питання пошкодження трансформаторів напруги контролю ізоляції в сільських розподільних мережах // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету/ техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./- Вип.6.-Кіровоград: КДТУ, 2000.-С.139-141.

13. Нем В. К. Конспект лекцій з курсу «Тягові підстанції електричного транспорту» (для студентів 5-го курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 7.092202 (7.05070203) «Електричний транспорт») / В. К. Нем, В. І. Скуріхін, В. Ф. Сидоренко; Харк. нац. акад. міск. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 109 с.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		