

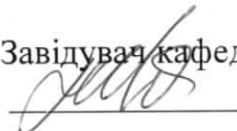
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Електротехніка та електромеханіка

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

 /А. М. Муха/

« 15 » 12 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **14 Електрична інженерія**

Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Освітньо-професійна програма **Електромеханічні системи автоматизації та електропривод**

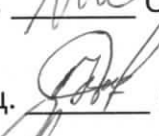
Тема **Дослідження впливу імовірнісної зміни напруги і струму на енергетичні показники електроприводу електропоїздів постійного струму**

Theme **Investigation of the influence of probabilities changes in voltage and current on the energy indicators of the electric drive of direct current electric trains**

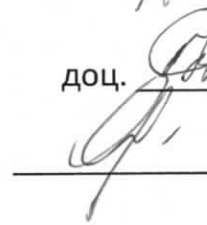
Керівник дипломної роботи

доц.  О.Т. Шейкіна

Нормоконтролер

доц.  О.О.Карзова

Студент групи ЕП1926

 Ф. М. Мехравар

Student

Mekhravar Farid

Дніпро – 2020

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Факультет Управління енергетичними процесами
кафедра Електротехніка та електромеханіка
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри

 
(підпис) (ПІБ)

«11» 11 2020 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи на здобуття ОКР магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента групи ЕП1926 Мехравар Фарід Мазахір Огли

(номер групи)

(ПІБ)

1. Тема дипломної роботи роботи «Дослідження впливу імовірнісної зміни напруги і струму на енергетичні показники електропоїздів постійного струму»

затверджена наказом по університету № 849ст від «12» 11 2019 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 18.12.2020

3. Вихідні дані до дипломної роботи

1. Часові діаграми вихідної напруги на струмоприймачі та струму електропоїзда ЕПЛ2Т.

2. Технічні дані двигуна

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

1. Розділ 1 Моніторинг та імовірнісно-статистичний аналіз випадкових електротягових напруги і струму електроприводу електропоїзда.

2. Розділ 2 Методи і чисельне визначення потужностей електроприводу.

3. Розділ 3 Оцінка коефіцієнта корисної дії тягового електроприводу.

4. Розділ 4 Охорона праці та безпека життєдіяльності.

5. Перелік графічних робіт (з переліком обов'язкових креслень)

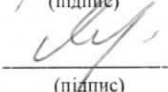
1.Імовірно-статистичний аналіз випадкової величини напруги на струмоприймачі та струму електропоїзда ЕПЛ2Т . 2. Оцінка складових повної потужності та коефіцієнтів потужностей . 3.Методологія визначення к.к.д. 4.Чисельна оцінка загальних втрат потужності та к.к.д.

6.	Розділ	Консультант	Підпис, дата	
			Завдання видав	Завдання прийняв
	Охорона праці та безпека життєдіяльності	Зав. каф. БЖД Саблін О.І.		

Дата видачі завдання: «16»листопада 2019 р.

Керівник дипломної роботи

Завдання прийняв до виконання

 Мешнік О.Т.
(підпис) (ПІБ)
 Мехравар Ф.М.
(підпис) (ПІБ)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Моніторинг та імовірно-статистичний аналіз випадкових електротягових напруги і струму електроприводу електропоїзда.	<u>лютий 2020</u>	
2	Методи і чисельне визначення потужностей електроприводу	<u>травень 2020</u>	
3	Оцінка коефіцієнта корисної дії тягового електроприводу	<u>господень 2020</u>	
4	Охорона праці та безпека життєдіяльності	<u>травень 2020</u>	

Студент-дипломник

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему «Дослідження впливу імовірнісної зміни напруги і струму на енергетичні показники електроприводу електропоїздів постійного струму» містить: 57 сторінок основного тексту, 10 таблиць, 10 рисунків, 28 літературних джерел.

Мета роботи – оцінка впливу існуючого випадкового характеру зміни напруги і струму на енергетичні показники електроприводу електропоїздів постійного струму.

В **розділі 1** виконано імовірнісно-статистичну обробку реєстрограм напруги і струму на основі теорії випадкових величин і теорії випадкових процесів.

В **розділі 2** визначено коефіцієнт потужності та коефіцієнт реактивної потужності електропривода моторного вагона електропоїзда ЕПЛ2Т.

В **розділі 3** визначено складові повної потужності та коефіцієнт корисної дії електропривода моторного вагона електропоїзда постійного струму ЕПЛ2Т, як в номінальному режимі так і для режиму з випадковими напругою і струмом.

В **розділі 4** розглянуто охорону праці та безпеку життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях, зокрема при пожежі, на тяговому рухомому складі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЯГОВИЙ ДВИГУН, ВИПАДКОВІ ПРОЦЕСИ, КВАНТУВАННЯ, РЕЄСТРОГРАМИ, ГІСТОГРАМА, НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН, ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ, ПОТУЖНІСТЬ ФРИЗЕ, КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ, КОЕФІЦІЄНТ ПОТУЖНОСТІ .

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						4
Змін..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 МОНІТОРИНГ ТА ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ	
ВИПАДКОВИХ ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ НАПРУГИ І СТРУМУ	
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОВОЗУ	10
1.1 Силова схема і технічні дані електропоїзда типу ЕПЛ2Т та його	
тягового електродвигуна 1ДТ.003.Л8У1	10
1.1.1 Технічні дані електропоїзда ЕПЛ2Т	10
1.1.2 Технічні дані і характеристики тягового двигуна	
1ДТ.003.Л8 У1	11
1.2 Характер часової зміни і способи квантування напруги і струму одного	
моторного вагону електропоїзда без урахування вибігів	12
1.3 Імовірнісно-статистичний аналіз напруги	15
1.4 Імовірнісно-статистичний аналіз струму	23
1.5 Імовірнісні характеристики для одного двигуна	
моторного вагону електропоїзда з урахуванням вибігів	30
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ І ЧИСЕЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТЕЙ	
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	31
2.1 Теоретичні аспекти визначення складових повної потужності	31
2.2 Чисельна оцінка складових повної потужності, коефіцієнта	
потужності та коефіцієнта реактивної потужності	36
2.2.1 Для номінального режиму	37
2.2.2. Для режиму з випадковими напругою і струмом .	38
РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ТЯГОВОГО	
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	39
3.1 Методологія визначення к.к.д.	39

					Дослідження впливу імовірнісної зміни напруги і струму на енергетичні показники електроприводу електропоїздів постійного струму			
Змн.	Арк	№ Документу	Підпис	Дата				
					Пояснювальна записка			
Зав. кафедр.	Муха А.М.							
Н. контр.	.Карзова О.О.							
Осн. керів.	Шейкіна О.Г.							
Розробив	Мехравар Ф.М							
						Лім.	Аркуш	Аркушів
							5	62
						ДНУЗТ ім. ак. Лазаряна		
						група ЕП1926		

3.2 Чисельна оцінка загальних втрат потужності .	40
3.3 Результиуюча оцінка та аналіз к.к.д.	42
3.3.1 Для номінального режиму	42
3.3.2. Для режиму з випадковою зміною напруги і струму	42
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	44
4.1 Вимоги безпеки при експлуатації тягового рухомого складу	44
4.2 Дії персоналу підприємств залізничного транспорту в аварійних ситуаціях	51
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	55
ДОДАТОК А	58

ВСТУП

Близько 70% усього об'єму електричної енергії споживають системи електричного електроприводу. Насамперед це відноситься до тягового електроприводу, через його велику потужність, не лінійність та динамічність.

Оцінка ефективності споживання електричної енергії будь-якої електротехнічної системи або пристрою, а отже приводів електропоїздів, тобто електрорухомого складу (ЕРС), відбувається на основі аналізу величин енергетичних показників системи [1], які можуть бути розраховані або виміряні в конкретному режимі її роботи. Основними енергетичними показниками будь-якої одиниці електричного транспорту є коефіцієнт потужності λ і коефіцієнт корисної дії η . В класичному розумінні стосовно до ЕРС коефіцієнт потужності, по-перше, визначає ступінь використання в ЕРС повної потужності S , підведеної до нього від контактної мережі. По-друге, величина λ також характеризує втрати активної потужності в силових колах ЕРС та тягової мережі. В той же час, ефективність роботи ЕРС з точки зору економічності або витрати електроенергії визначається величиною к.к.д. В загальному випадку к.к.д. ЕРС визначають як відношення здійснюваної корисної роботи (механічної на ободі коліс) до витраченої активної електроенергії джерела [2].

Традиційна класична система критеріїв ефективності електроенергетичних процесів, яку найчастіше застосовують, в тому числі і в електричних колах систем тяги, включає в себе такі показники якості енергопроцесів [3-6]: коефіцієнт зсуву фаз основної гармоніки струму відносно основної гармоніки напруги ($\cos \varphi_{(1)}$); коефіцієнт спотворення форми струму по відношенню до форми напруги (γ); коефіцієнт не симетрії навантаження по фазах ($K_{НС}$); коефіцієнт нерівномірності споживання електроенергії ($K_{Нр}$). Ці коефіцієнти, як енергетичні показники, базуються на співвідношеннях відповідних

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потужностей (енергетичних характеристиках): активній P , реактивні $Q_{(1)}$, спотворення D , не симетрії H_c , нерівномірності H_p , та повній S .

Загальним показником в цій системі є коефіцієнт потужності (пристрою, системи або просто кола) λ , який можна визначити як:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \cos \varphi_{(1)} \nu K_{nc} K_{np},$$

де $P = U_{(1)} I_{(1)} \cos \varphi_{(1)}$; $S = UI$; $Q_{(1)} = U_{(1)} I_{(1)} \sin \varphi_{(1)}$.

Слід зауважити, що коефіцієнт $\cos \varphi_{(1)}$ не завжди являється достатньо очевидним енергетичним показником і тому, вже багато років, в тяговому електропостачанні, подібно промисловому, в якості звітної величини використовують коефіцієнт реактивної потужності $\operatorname{tg} \varphi_{(1)} = \frac{Q_{(1)}}{P}$, яка є більш енергетично практичним показником.

Класична система енергетичних показників, яка викладена вище, базується на гармонійному підході і тому, по-перше, може призвести до невизначеності та ускладнень при характеристиці потоків енергії, коли вже треба оперувати з інтегралами функцій енергії. По-друге, вона володіє негативними сторонами [7], зокрема, мають місце утруднення при необхідності диференціювання оцінок ефективності за видами відхилень стану систем напруг і струмів від нормованих значень.

Окрім зазначеного, розглянуті вище показники змістовно тісно пов'язані з показниками якості електроенергії (ПЯЕ) згідно ГОСТ 13109-97 і тому в якості критеріїв нерідко обмежуються цими ПЯЕ. Однак останні «безликі» відносні величини і не відображають економічної сторони протікання енергетичних процесів, зокрема втрат електроенергії і нормалізують лише зміни напруги. І, нарешті, ПЯЕ не є обов'язковими між енергопостачальною організацією і споживачем. На нашу думку, найбільш важливим показником (критерієм) ефективності енергопроцесів електропостачання і електроспоживання в системі електричної тяги можуть служити втрати активної електроенергії в

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						8
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристроях системи, а саме: в живлячій лінії електропередач, тяговій підстанції, тягової мережі і ЕРС. Ці втрати – втрати на передачу (транспортування) і розподілення електроенергії, їх називають технологічними втратами.

Мета роботи. Оцінка впливу існуючого випадкового характеру зміни напруги і струму на енергетичні показники електроприводу електропоїзда постійного струму типу ЕПЛ2Т.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

РОЗДІЛ 1
МОНІТОРИНГ ТА ІМОВІРНІСТНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ
ВИПАДКОВИХ ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ НАПРУГИ І СТРУМУ
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕЛЕКТРОПОЇЗДУ

1.1 Силова схема і технічні дані електропоїзда типу ЕПЛ2Т та його тягового електродвигуна 1ДТ.003..Л8У1

Основний склад електропоїзда ЕПЛ2Т містить 8 вагонів зі структурою 2Г+4М+2П, тобто він має 2 головних вагони, 4-моторних і 2-причіпних. Кожний моторний вагон (рис. 1) оснащений електричним приводом з чотирма послідовно з'єднаними електродвигунами постійного струму послідовного збудження.

Нижче приведемо технічні дані власне електропоїзда та його тягового двигуна [8].

1.1.1 Технічні дані електропоїзда ЕПЛ2Т

Напруга в контактній мережі, В	3000
Основний склад поїзда	2Г + 4М + 2П
Довжина вагонів по осях автозчеплення, мм	25250 ± 230
Конструкційна швидкість, км/год.	130
Експлуатаційна швидкість, км/год.	120
Формула ходової частини	2o - 2o
Діаметр колеса моторних вагонів, мм	1050
Ширина колії, мм	1520 (1524)
Число місць для сидіння в поїзді	1040
Підвішування тягових двигунів	опорно-рамне
Регулювання напруги на тягових двигунах	реостатно-ступеневе
Електричне гальмо	реостатно-рекуперативний
Розрахункова населеність вагонів, не більше (людина):	

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Лист
Зміни	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

головного	177
моторного	195
причіпного	195

Маса тари з екіпіровкою, т:

вагонів: головного	51
моторного	65
причіпного	49
сумарна моторних вагонів	260
електропоїзда основного складу	460

Маса при повній населеності, т:

вагонів: головного	63,4
моторного	78,6
причіпного	62,7
сумарна моторних вагонів	314,4
електропоїзда основного складу.....	566,5

Коефіцієнт інерції обертових мас $1 + \gamma$1,08

Передаточне відношення тягового редуктора3,41

1.1.2 Технічні дані і характеристики тягового двигуна 1ДТ.003.Л8У1

Тяговий двигун 1ДТ.003.Л8 У1 призначений для установки на електро-поїзді ЕПЛ2Т.

Номінальна напруга, В750

Параметри часового режиму;

потужність, кВт,	240
струм якоря, А	350
частота обертання, об/хв.....	1240
к.к.д.....	0,915

Мінімальна ступінь збудження0,18

Максимальна експлуатаційна частота обертання,об/хв2065

Ізоляція обмоток щодо корпусу на номінальну напругу, В3300

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

Клас нагрівостійкості ізоляції обмоток	F
Маса тягового двигуна, кг	2300
Діаметр колектора, мм	440
Опір обмоток при 75 ° С, Ом:	
якоря.....	0,068
головних полюсів.....	0,022
додаткових полюсів	0,130
сумарне.....	0,220.

1.2 Характер часової зміни і способи квантування напруги і струму одного моторного вагону електропоїзда ЕПЛ2Т без урахування вибігів

На рис. 2 приведені часові діаграми (реєстрограми) напруги $U(t)$ і тягового струму $I(t)$. Ці криві були запозичені з результатів досліджень професора Костіна М. О. з його аспірантами, з їх дозволу.

Системи електричного транспорту постійного струму, що базуються на тяговому електроприводі постійного струму, по суті не є системами постійного струму. Технологічні і ряд інших факторів обумовлюють той факт, що і напруги на тягових електродвигунах, і тягові струми являють собою випадкові процеси. І тому усі розрахунки в цих системах повинні виконуватись на основі імовірісно-стохастичного аналізу зазначених напруг і струмів. Методики такого аналізу [9] і показані нижче.

Для отримання статистичних характеристик (чотирьох перших моментів) процесів $U(t)$, $I(t)$, їх реалізації оброблювали методом квантування (дискретизації) за часом. Величину часового інтервалу квантування Δt визначали в залежності від спектрального складу процесу, виходячи із співвідношення [10] :

$$\Delta t = \frac{T_{\min}}{5 \dots 10} = \frac{9500}{91} = 105 \text{ с},$$

де $T_{\min}$ – період, відповідно високо складових процесу $\omega_{\max}$.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

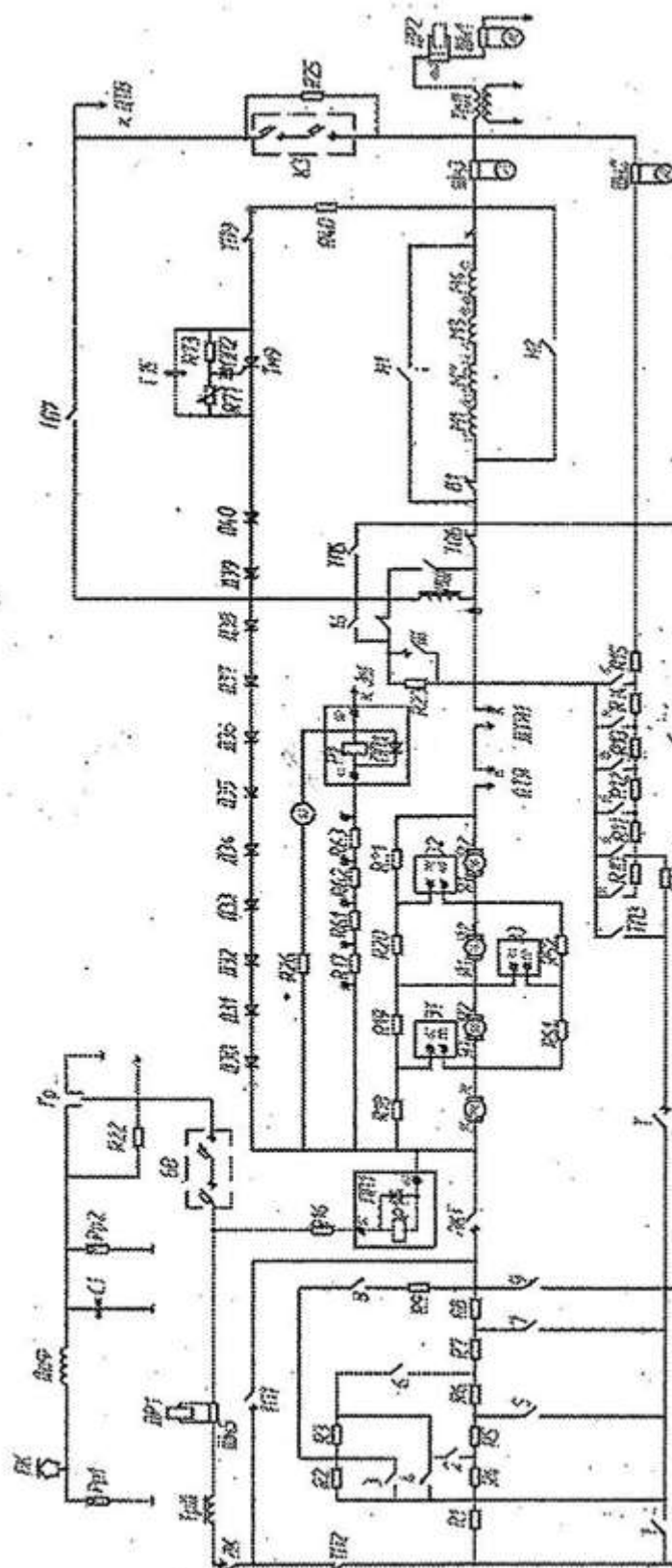


Рис.1. Силова схема моторного вагона електропоїзда ЕПІ2Т

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ

Залежності напруги і струму (рис. 2) обробляли імовірісно-статистичним методом [9].

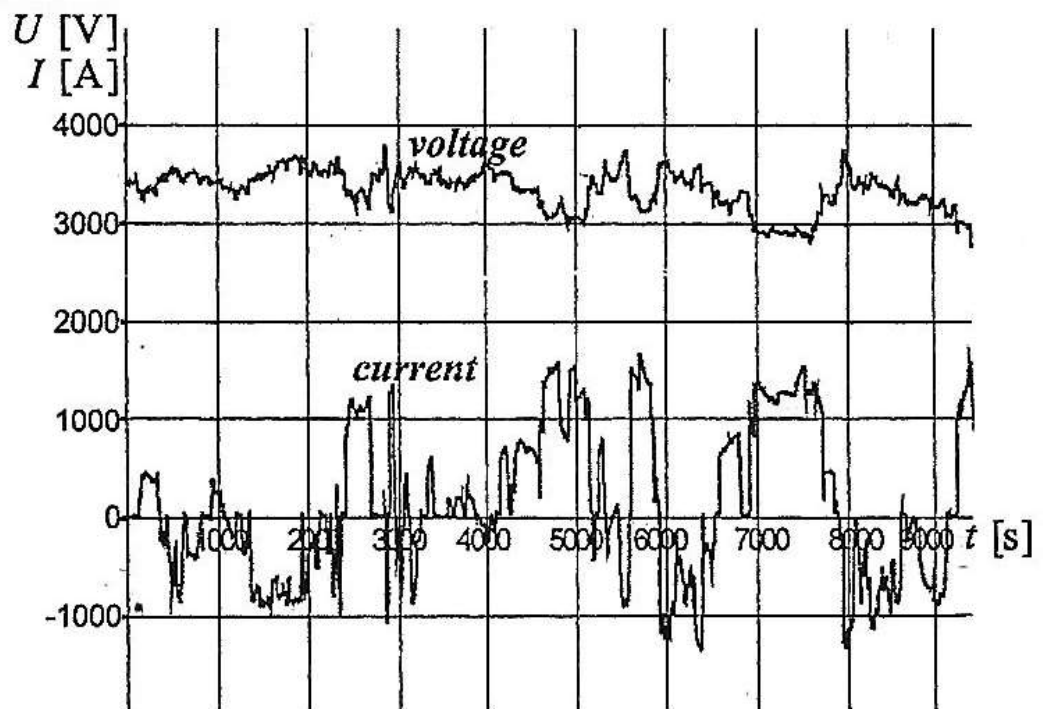


Рис. 2. Часові діаграми (реєстрограми) вихідної напруги $U(t)$ на струмоприймачі та струму $I(t)$ електропоїзда ЕПЛ2Т

Таблиця 1 – Чисельні данні квантування вихідної напруги $U(t)$ (в Вольтах) на струмоприймачі:

3450	3400	3300	3350	3450	3500	3500	3450	3400
3430	3400	3390	3360	3250	3300	3450	3500	3600
3610	3650	35000	3550	3500	3650	3500	3100	3300
3500	3800	3100	3600	3400	3550	3400	3500	3400
3400	3400	3450	3500	3650	3400	3500	3500	3300
3300	3200	3100	3250	3000	3100	3000	3500	3300
3600	3400	3700	3300	3100	3200	3600	3450	3400
3350	3600	3400	3200	3200	3300	3100	2990	2850
3000	2900	2900	3000	2850	3100	3300	3400	3700
3350	3400	3500	3400	3250	3450	3200	3300	3200

Таблиця 2 – Чисельні данні квантування струму $I(t)$ (в Амперах) електропоїзда ЕПЛ2Т

450	400	300	50	50	1200	1100
1300	450	600	200	400	700	800
700	200	1400	1550	900	700	1500
1300	800	100	1500	1600	20	650
700	850	1300	1200	1100	1200	1250
1500	1300	200	50			

1.3 Імовірісно-статистичний аналіз напруги

1. Оцінимо достатність отриманого статистичного матеріалу (статистичні сукупності), тобто вибірки, для якісного статистичного аналізу, для цього визначимо мінімальну необхідність вибірки за такою формулою:

$$n_{\min X} = \frac{N \cdot \sigma_X^2 \cdot t^2}{N \cdot \Delta^2 + \sigma_X^2 \cdot t^2} \quad (1)$$

де N – загальна кількість спостережених значень випадкових величин в статистичній сукупності;

X – випадкова величина;

σ_X^2 – найбільша дисперсія значень, встановлена на підставі попередніх випробувань;

Δ – допустима границя помилки вимірювань величини, 1% від математичного очікування «малої» вибірки;

t – аргумент інтегральної функції Лапласа $F(t)$ (з імовірністю якої забезпечується задана точність), $t = 1,96$ при $F(t) = 0,95$.

Для визначення величини u формулі (1) із заданої нормальної статистичної сукупності вибирається «мала» статистична сукупність дець 20 – 30 % від усіх значень із заданої сукупності, при цьому в будь-якому порядку.

Для напруги U , В:

3450; 3400; 3300; 3350; 3450; 3500; 3500; 3450; 3400; 3430; 3400; 3390; 3360; 3250; 3300; 3450; 3500; 3600; 3610; 3650; 3500; 3550; 3500; 3560; 3500; 3100; 3300; 3500; 3800; 3100.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цієї «малої» вибірки визначаємо математичне очікування за формулою:

$$m_X^* = \frac{\sum_{i=1}^{15} X_i}{n}; \quad (2)$$

$$m_U^* = \frac{\sum_{i=1}^{15} U_i}{n};$$

$$m_U^* = 3359,89 \text{ В.}$$

Аналогічно для цієї «малої» вибірки визначаємо середньоквадратичне відхилення напруги за формулою:

$$\sigma_X^* = \sqrt{D_X^*}, \quad (3)$$

де D_X^* – дисперсія випадкової величини:

$$D_U = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i - m_U^*)^2}{15 - 1}, \quad (4)$$

$$D_U^* = 3156063,1 \text{ В}^2,$$

$$\sigma_U^* = 1776,53 \text{ В},$$

$$n_{\min U} = \frac{90 \cdot 1776,53^2 \cdot 1,96^2}{90 \cdot 16,9767^2 + 1776,53^2 \cdot 1,96^2} \approx 89.$$

Отримали , а $n_{\min U} \approx 89$, а задана сукупність $n_U = 90$, отже заданої нормальної статичної сукупності достатньо для якісного статистичного аналізу.

2. Поділяємо увесь масив нормальної статистичної сукупності на інтервали. Для цього всі ці сукупності візуально знаходимо найбільше і найменше значення.

Найбільше $U_{\max} = 3800 \text{ В}$

Найменше $U_{\min} = 2850 \text{ В.}$

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

За цими даними визначаємо довжину інтервалу зміни випадкової величини за такою формулою:

$$\Delta X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 + 3,2 \lg n}, \quad (5)$$

$$\Delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{1 + 3,2 \lg 90} = \frac{3800 - 2850}{1 + 3,2 \lg 90} = 130,97.$$

3. Визначаємо межі інтервалів зміни напруги у табл. 3. Перший інтервал буде мати такі значення (ліву та праву). $U_{\min} \dots U_{\min} + \Delta U$.

Таблиця 3 – Значення статистичної вибірки напруги по інтервалам

№ п/п	Межі інтервалів напруги, В	Розрахунок частот в інтервалах	Частота в інтервалах, m_u	Частість в інтервалі, $p_u = \frac{m_u}{n}$
1	2	3	4	5
1	2850-2980,97		4	0,044
2	2980,97-3111,94		11	0,122
3	3111,94-3242,91		6	0,067
4	3242,91-3373,88		17	0,189
5	3373,88-3504,85		37	0,411
6	3504,85-3635,82		10	0,111
7	3536,82-3766,79		4	0,044
8	3766,79-3897,76		1	0,011

4. За даними стовбців 2 і 5 табл. 3 будуємо так зване статистичне розподілення досліджуємо випадкової напруги, тобто будуємо гістограму. По вісі абсцис гістограми відкладаємо значення інтервалів напруги (стовбець 2), а по осі ординат відкладаємо значення частоти (стовбець 5); в результаті отримуємо рис. 3.

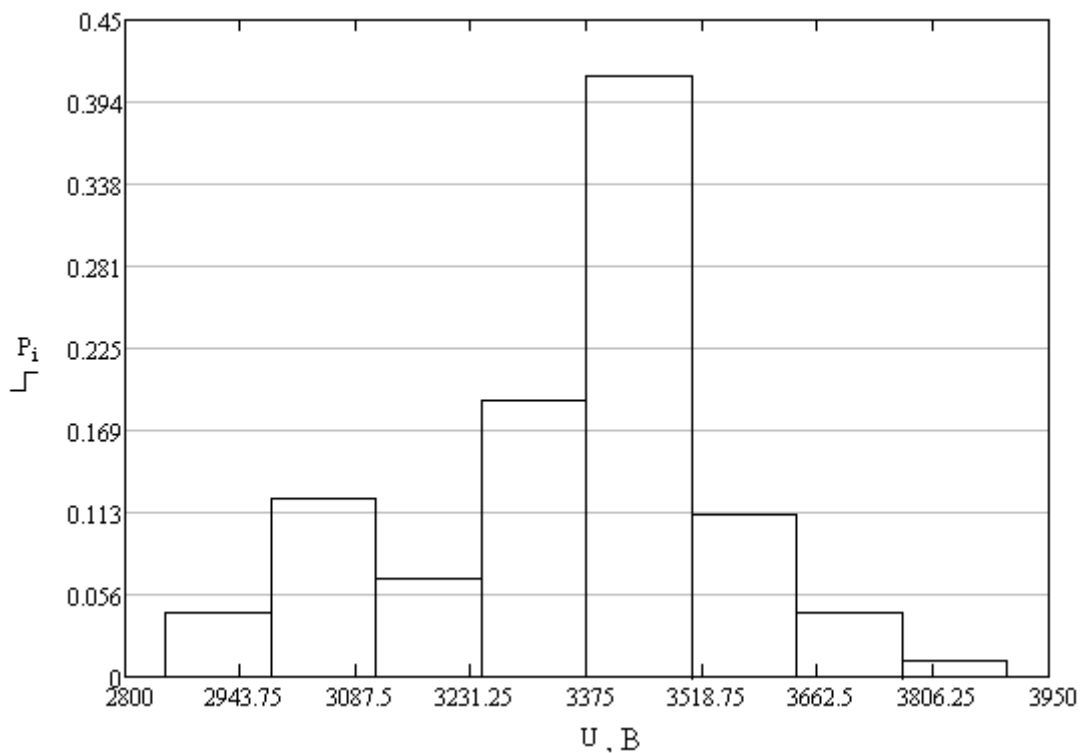


Рис. 3. Гістограма напруги

5. Визначаємо числові характеристики заданої нормальної сукупності напруги, тобто математичне очікування, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт асиметрії, ексцес.

Математичне очікування:

$$m_X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (6)$$

$$m_U = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n},$$

$$m_U = 3359,89 \text{ В.}$$

Дисперсія:

$$D_X = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - m_X)^2}{n-1}, \quad (7)$$

$$D_U = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i - m_U)^2}{n-1},$$

$$D_U = 40708,98 \text{ В}^2.$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\begin{aligned}\sigma_X &= \sqrt{D_X}, \\ \sigma_U &= \sqrt{D_U}, \\ \sigma_U &= 201,76 \text{ В}.\end{aligned}\tag{8}$$

Коефіцієнт асиметрії:

$$\begin{aligned}As_X &= \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - m_X)^3}{n \cdot \sigma_X^3}, \\ As_U &= \frac{\sum_{i=1}^n (U_i - m_U)^3}{n \cdot \sigma_U^3}, \\ As_U &= -0,579 \text{ в.о.}\end{aligned}\tag{9}$$

Оскільки коефіцієнт асиметрії отримано від'ємний, то маємо правосторонню асиметрію.

Ексцес:

$$\begin{aligned}Ex_X &= \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - m_X)^4}{n \cdot \sigma_X^4} - 3, \\ Ex_U &= \frac{\sum_{i=1}^n (U_i - m_U)^4}{n \cdot \sigma_U^4} - 3, \\ Ex_U &= -0,035 \text{ в.о.}\end{aligned}\tag{10}$$

Оскільки ексцес отримано від'ємним, тоді закон розподілення має плоско вершинний вигляд.

7. Підбираємо теоретичний закон розподілу для отриманого статистичного розподілу (гістограма, рис. 3), тобто закон який виражається якоюсь формулою.

Це робиться так: беремо математичний довідник, або література з теорії надійності і аналізується графічний вигляд того чи іншого теоретичного

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

закону розподілення і його вигляд зрівнюється з гістограмою. Закон приймається таким, графічний вигляд якого найбільше підходить до вигляду гістограми.

В даній задачі вигляд гістограми свідчить, що найбільше підходить нормальний закон, або закон Гауса (рис. 4).

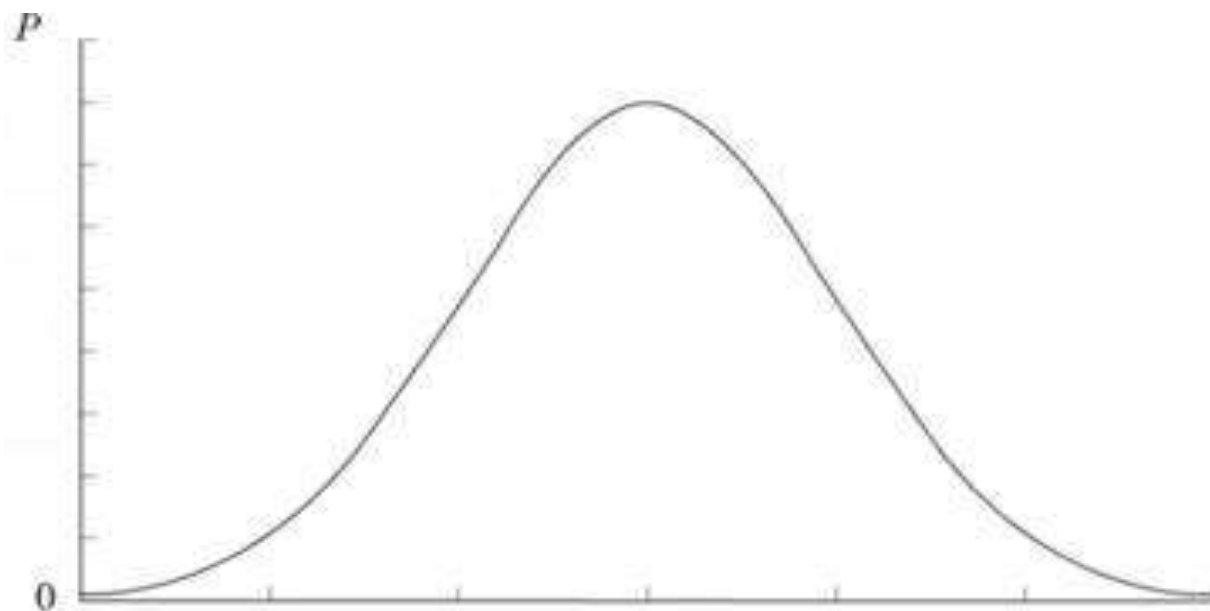


Рис. 4 – Теоретичний закон розподілу напруги

$$f(X) = \left(\frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-m_X)^2}{2\sigma_X^2}} \right) \cdot \Delta X \quad (11)$$

В цю формулу послідовно підставляємо значення меж інтервалів гістограми, а також значення їх середини і визначаємо $f(U)$, які множаться на довжину інтервалу ΔU (табл. 4). Отриманні значення $f(U)$ відкладаємо на рис. 5. В результаті отримуємо неперервну плавну криву $f(U)$.

Таблиця 4 – Розрахунок теоретичного розподілення напруги

№ п/п	Значення меж і середин інтервалів U , В	$\frac{1}{\sigma_U \sqrt{2\pi}}$	$\frac{1}{\sigma_U \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(U-m_U)^2}{2\sigma_U^2}\right]}$	$f(U)$
1	2	3	4	5
1	2784,52	4,066118515	0,017143799	0,0044
2	2850,00	3,193235286	0,041038875	0,0106
3	2915,48	2,425691908	0,088416908	0,0229
4	2980,97	1,763488382	0,171445732	0,0444
5	3046,45	1,206624708	0,29920546	0,0775
6	3111,94	0,755100886	0,469963177	0,1217
7	3177,42	0,408916915	0,664369412	0,1720
8	3242,91	0,168072796	0,845292289	0,2189
9	3308,39	0,032568529	0,967956112	0,2507
10	3373,88	0,002404114	0,997598773	0,2583
11	3439,36	0,07757955	0,925353405	0,2396
12	3504,85	0,258094839	0,772521951	0,2001
13	3570,33	0,543949979	0,580450929	0,1503
14	3635,82	0,93514497	0,392528933	0,1017
15	3701,30	1,431679814	0,238907244	0,0619
16	3766,79	2,033554509	0,1308695	0,0339
17	3832,27	2,740769057	0,064520697	0,0167
18	3897,76	3,553323455	0,028629327	0,0074
19	3963,24	4,471217706	0,011433382	0,0030

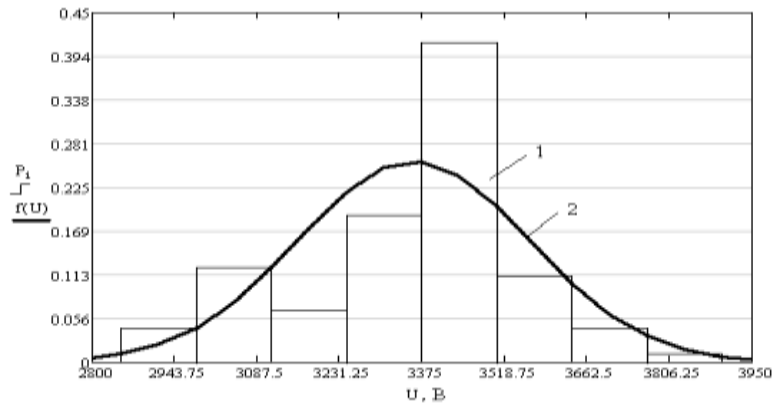


Рис. 5. Статистичне розподілення (1) та нормальний закон розподілення напруги (2)

8. Виконуємо перевірку узгодженості теоретичного і статистичного розподілення, гістограми з вибраним теоретичним законом розподілення. Тобто перевіряємо, чи достатньо якісно крива вирівнює ступінчасту гістограму. В теорії імовірності найчастіше, це виконують за так названим критерієм Пірсона. Згідно формули:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^l \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} \quad (12)$$

де l – кількість інтервалів;

m_i – кількість частоти інтервалів (стовпчик 3, табл. 4);

n – загальна статистична сукупність;

p_i – імовірність значень досліджуваної випадкової величини в кожному інтервалі.

Для розрахунку χ^2 потрібно виконувати такі табличні розрахунки (табл. 5).

Значення стовпчика 4 і 6 отриманні із табл. 1 по [9].

Кількість накладання зв'язків, $S = 3$.

Тоді, кількість ступенів вільності:

$$rI = l - S = 7 - 3 = 4$$

$$rU = l - S = 8 - 3 = 5$$

Тоді з табл. 4 [9] для напруги – $\chi^2 = 23.8423$ з $r = 5$, маємо $p = 0$.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

Це імовірність того, що вибране теоретичне розподілення не описує статистичне розподілення (гістограма).

Таблиця 5 – Розрахункова таблиця критерій узгодженості Персона для розподілення напруги

№	Межі інтервалів напруги, В	m_U	$\frac{U_{i+1} - m_i}{\sigma_U}$ в.о.	$\Phi^*(4)$, в.о.	$\frac{U_i - m_U}{\sigma_U}$ в.о.	$\Phi^*(6)$, в.о.	$P_i = \Phi^*(4) - \Phi^*(6)$	np_i	$\frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2850-2980,97	4	-1,88	0,0301	-2,53	0,0052	0,0249	2,2410	1,3807
2	2980,97-3111,94	11	-1,23	0,1093	-1,88	0,0301	0,0792	7,1280	2,1033
3	3111,94-3242,91	6	-0,58	0,281	-1,23	0,1093	0,1717	15,4530	5,7826
4	3242,91-3373,88	17	0,07	0,5279	-0,58	0,281	0,2469	22,2210	1,2267
5	3373,88-3504,85	37	0,72	0,7642	0,07	0,5279	0,2363	21,2670	11,6390
6	3504,85-3635,82	10	1,37	0,9147	0,72	0,7642	0,1505	13,5450	0,9278
7	3536,82-3766,79	4	2,02	0,9772	1,37	0,9147	0,0625	5,6250	0,4694
8	3766,79-3897,76	1	2,67	0,9965	2,02	0,9772	0,0193	2,2410	0,3127
Сума:								23,8423	

1.4 Імовірісно-статистичний аналіз струму

Оцінимо достатність отриманого статистичного матеріалу (статистичні сукупності), тобто вибірки струму, для якісного статистичного аналізу струму, для цього визначимо мінімальну необхідність вибірки за такою формулою (1):

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення величин у формулі (1) із заданої нормальної статистичної сукупності струму вибирається «мала» статистична сукупність деє 20-30 % від усіх значень струму із заданої сукупності, при цьому в будь-якому порядку.

Для струму I , А:

450; 400; 300; 50; 50; 1200; 1100; 1300; 450; 600.

Для цієї «малої» вибірки визначаємо математичне очікування струму за формулою (2):

$$m_I^* = 590 \text{ А.}$$

Аналогічно для цієї «малої» вибірки визначаємо дисперсію та середньоквадратичне відхилення струму за формулами (3) і (4):

$$D_I^* = 208777,78 \text{ А}^2$$

$$\sigma_I^* = 456,92 \text{ А}$$

Визначаємо

$$\Delta_I = 5,9.$$

$$n_{\min I} = \frac{39 \cdot 456,92^2 \cdot 1,96^2}{39 \cdot 5,9^2 + 456,92^2 \cdot 1,96^2} \approx 38$$

Отримали $n_{\min I} \approx 38$, а задана сукупність $n_I = 39$, отже заданої нормальної статичної сукупності достатньо для якісного статистичного аналізу.

2. Розділяємо весь масив нормальної статистичної сукупності на інтервали. Для цього для всієї цієї сукупності візуально знаходимо найбільше і найменше значення струму.

Найбільше $I_{\max} = 1600 \text{ А.}$

Найменше $I_{\min} = 20 \text{ А.}$

За цими даними визначаємо довжину інтервалу зміни випадкового струму за формулою (5):

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						24
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta I = \frac{1600 - 20}{1 + 3,2 \lg 39} = 259,38.$$

3. Визначаємо межі інтервалів зміни струму і запишемо їх в табл. 6. Перший інтервал буде мати такі значення (ліву та праву) $I_{\min} \dots I_{\min} + \Delta I$.

Таблиця 6 – Значення статистичної вибірки струму по інтервалам

№ п/п	Межі інтервалів струму	Розрахунок частот в інтервалах	Частота в інтервалах, m_i	Частість в інтервалі, $p_i = \frac{m_i}{n}$
1	2	3	4	5
1	20-279,38		8	0,205
2	279,38-538,76		5	0,128
3	538,76-798,15		6	0,154
4	798,15-1057,53		4	0,103
5	1057,53-1316,91		10	0,256
6	1316,91-1576,29		5	0,128
7	1576,29-1835,67		1	0,026

4. За даними стовбців 2 і 5 табл. 6 будуюмо так зване статистичне розподілення досліджує мого випадкового струму, тобто будуюмо гістограму. По вісі абсцис гістограми відкладаємо значення інтервалів струму (стовбець 2), а по вісі ординат відкладаємо значення частоти (стовбець 5); в результаті отримуємо рис. 6.

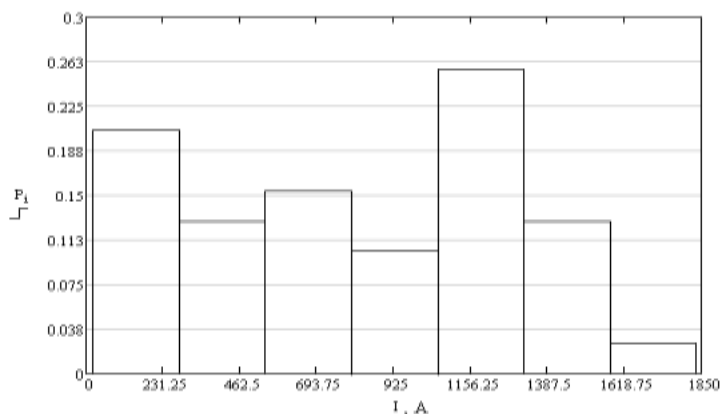


Рис. 6. Гістограма струму

5. Визначаємо числові характеристики заданої нормальної сукупності струму, тобто математичне очікування, дисперсію, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт асиметрії, ексцес.

Математичне очікування за формулою (6) становить

$$m_I = 809,49 \text{ А.}$$

Дисперсія за формулою (7)

$$D_I = 254931,31 \text{ А}^2.$$

Середньоквадратичне відхилення по (8)

$$\sigma_I = 504,91 \text{ А}$$

Коефіцієнт асиметрії по (9)

$$As_I = -0,069 \text{ в.о.}$$

Якщо коефіцієнт асиметрії отримано від'ємний, то маємо правосторонню асиметрію.

Ексцес згідно формулі (10) становить

$$Ex_I = -1,397 \text{ в.о.}$$

Якщо ексцес отримано від'ємним, тоді закон розподілення має плоско вершинний вигляд.

7. Підбираємо теоретичний закон розподілу струму для отриманого статистичного розподілу за формулою (11) (гістограма, рис.1).

В даному випадку вигляд гістограми свідчить, що найбільше підходить нормальний закон, або закон Гауса (рис. 4).

В формулу(11) послідовно підставляємо значення меж інтервалів гістограми струму, а також значення їх середини і визначаємо $f(I)$ які множимо на довжину інтервалу ΔI (див.табл.7). Отриманні значення $f(I)$ відкладаються нарис.1. В результаті отримуємо неперервну плавну криву $f(I)$.

Таблиця 7 – Розрахунок теоретичного розподілення струму

№ п/п	Значення меж і середин інтервалів I , А	$\frac{1}{\sigma_I \sqrt{2\pi}}$	$\frac{1}{\sigma_U \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(I-m_I)^2}{2\sigma_I^2}\right]}$	$f(I)$
1	2	3	4	5
1	-109,69	1,6571	0,1907	0,0391
2	20,00	1,2224	0,2945	0,0604
3	149,69	0,8538	0,4258	0,0873
4	279,38	0,5511	0,5763	0,1181
5	409,07	0,3145	0,7302	0,1496
6	538,76	0,1437	0,8661	0,1775
7	668,45	0,0390	0,9617	0,1971
8	798,15	0,0002	0,9997	0,2049
9	927,84	0,0275	0,9729	0,1994
10	1057,53	0,1207	0,8863	0,1816
11	1187,22	0,2798	0,7559	0,1549
12	1316,91	0,5050	0,6035	0,1237
13	1446,60	0,7961	0,4511	0,0924
14	1576,29	1,1532	0,3156	0,0647
15	1705,98	1,5763	0,2067	0,0424
16	1835,67	2,0654	0,1268	0,0260
17	1965,36	2,6204	0,0728	0,0149

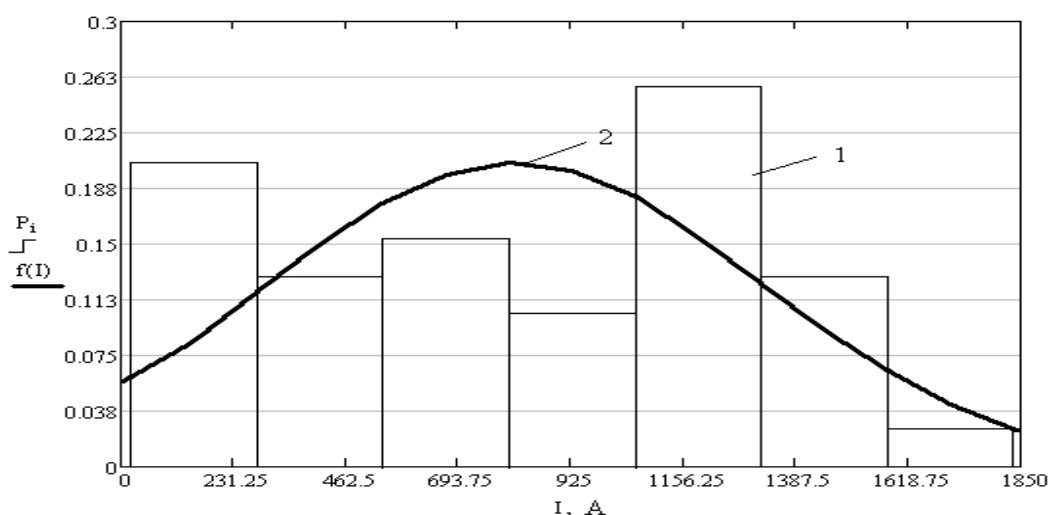


Рис. 7. Статистичне розподілення (1) та нормальний закон розподілення струму (2)

8. Виконуємо перевірку узгодженості теоретичного і статистичного розподілення, гістограми з вибраним теоретичним законом розподілення за критерієм Пірсона. Згідно формули:

Для розрахунку χ^2 по (12) потрібно виконувати такі табличні розрахунки (табл. 8).

Значення стовпчика 4 і 6 отриманні із табл. 1 [9].

Кількість накладання зв'язків, $S = 3$.

Тоді, кількість ступенів вільності:

$$\begin{aligned} rI &= l - S = 7 - 3 = 4 \\ rU &= l - S = 8 - 3 = 5 \end{aligned} \quad (13)$$

Тоді з табл. 4 [9], при $\chi^2 = 11,7827$ $r = 4$, маємо $p = 0,01$.

Це імовірність того, що вибране теоретичне розподілення не описує статистичне розподілення (гістограма), потрібно вибрати інший теоретичний закон.

Таблиця 8 – Розрахункова таблиця критерія узгодженості Пірсона для розподілення струму

№	Межі інтервалів струму	m_i	$\frac{I_{i+1}-m_i}{\sigma_I}$ в.о.	$\Phi^*(4),$ в.о.	$\frac{I_i-m_I}{\sigma_I}$ в.о.	$\Phi^*(6),$ в.о.	$P_i=\Phi^*(4)$ $-\Phi^*(6)$ в.о.	np_i	χ^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20-279,38	8	-1,05	0,1469	-1,56	0,0594	0,0875	3,4125	6,1671
2	279,38-538,76	5	-0,54	0,2946	-1,05	0,1469	0,1477	5,7603	0,1004
3	538,76-798,15	6	-0,02	0,492	-0,54	0,2946	0,1974	7,6986	0,3748
4	798,15-1057,53	4	0,49	0,6879	-0,02	0,492	0,1959	7,6401	1,7343
5	1057,53-1316,91	10	1,00	0,8413	0,49	0,6879	0,1534	5,9826	2,6977
6	1316,91-1576,29	5	1,52	0,9357	1,00	0,8413	0,0944	3,6816	0,4721
7	1576,29-1835,67	1	2,03	0,9772	1,52	0,9357	0,0415	1,6185	0,2364
Сума:									11,7827

1.5 Імовірнісні характеристики для одного двигуна моторного вагону електропоїзда з урахуванням вибігів

$$m_I^* = 350,7 \text{ A}$$

$$D_I^* = 268542,73 \text{ A}^2;$$

$$\sigma_I^* = 518,21 \text{ A};$$

$$As_I = 1,162 \text{ в. о.};$$

$$Ex_I = -0,202$$

Таблиця 9 – Чисельні данні квантування струму $I(t)$ (в А) електропоїзда ЕПЛ2Т:

0	0	450	400	0	0	0
0	0	0	300	0	0	0
0	0	0	0	0	50	0
0	50	0	0	0	1200	1100
0	0	1300	0	450	0	0
600	0	200	400	0	0	700
0	800	700	200	1400	1550	900
700	1500	1300	0	800	0	100
0	1500	1600	20	0	0	0
0	0	0	0	650	700	850
0	1300	1200	1100	1200	1250	1500
1300	200	0	0	0	0	0
0	0	0	50	0	0	

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ І ЧИСЕЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

2.1 Теоретичні аспекти визначення складових повної потужності

Теоретична електротехніка вивчає процеси в колах пристроїв чи систем (у подальшому система) з детермінованими, і найчастіше періодичними, електричними величинами [1, 12, 18]. Однак існує багато реально діючих електротехнічних систем, в яких вхідна дія є стохастичною функцією часу, а їх параметри – випадковими величинами, а, отже, і вихідні електричні величини

(напруги і струми) теж являють собою стохастичні процеси. Зазначене стосується також електричних кіл систем постійних (за родом) напруги і струму, в яких технологічні умови експлуатації обумовлюють істотні неперервні неперіодичні випадкові зміни в часі цих величин. Тобто, такі кола, фактично являються колами змінного струму. Прикладами таких систем є рухомий склад магістрального, кар'єрного, шахтного та міського електричного транспорту постійного струму: електровози, електропоїзди, мотор-вагони метрополітенів, трамваї, тролейбуси а також електролізери рафінування металів в гідрометалургії. У них постійна напруга на струмоприймачах і тяговий струм являють собою випадкові функції часу, відповідно $U(t)$ та $I(t)$.

Змінний, хоча і випадковий, характер напруг і струмів зобов'язує розраховувати, аналізувати та враховувати в електроспоживанні основні енергетичні показники системи, до яких відносяться: коефіцієнт корисної дії η , коефіцієнт потужності λ та втрати потужності. Величину η , як відомо, визначають як відношення корисної (вихідної) активної потужності P_2 до підведеної (вхідної) активної потужності P_1 :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						31
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт потужності, для електричних кіл з не синусоїдними електричними величинами визначають як відношення активної потужності P_1 , що споживається в певному режимі, до її повної потужності S_1

$$\lambda = \frac{P_1}{S_1}, \quad (13)$$

а для визначення ΔP , окрім P_1 і P_2 , необхідне знання також реактивної потужності Q системи. Однак зазначенні величини є інтегральними характеристиками енергетичного процесу в системі з не синусоїдними, тим більше з випадковими $u(t)$ та $i(t)$, і їх застосування не дозволяє достатньо точно здійснювати оптимальне енергорегулювання системи. Для цього ще потрібні

миттєві характеристики, такі як миттєві активна $p(t)$ та реактивна $q(t)$ потужності. І в той же час в теоретичній електротехніці невідомі не тільки розрахункові вирази, а навіть не обговорюються підходи до визначення вище потужностей в системах зі стохастичними енергетичними процесами.

Найбільш повну інформацію про енергетичні процеси в колах з випадковою напругою і струмом містить миттєва потужність $p(t)$:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t). \quad (14)$$

Для кожного електричного кола і відповідного йому певного режиму роботи функція $p(t)$ має реалізацію, яку вважають детермінованою функцією. Сімейство таких реалізацій являє собою випадкову функцію миттєвої потужності. Інтегральною характеристикою миттєвої потужності є активна потужності P , яка в загальному випадку визначається як

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt, \quad (15)$$

а в колах з не синусоїдними електричними величинами – як суму активних потужностей усіх гармонік рядів Фур'є функцій $u(t)$ та $i(t)$:

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = \sum_{k=0}^k U^{(k)} \cdot I^{(k)} \cdot \cos\varphi^{(k)} .$$

Активна потужність P , безвідносно до вигляду реалізації $u(t)$ та $i(t)$ і типу електричного кола, служить характеристикою дисипативних процесів. Однак в розглядуваних колах стохастичних електричних величин мають місце також консервативні процеси (коли енергія не перетворюється в інші види), в результаті чого активна потужність P не досягає свого максимального значення, але збільшується потужність джерела електроенергії. Цю потужність, що необхідна для отримання заданої активної потужності і яка характеризує енергоємність системи, називають повною і в колах несинусоїдного струму вона знаходиться за відомою формулою

$$S = U \cdot I , \quad (16)$$

де U та I – діючі значення не синусоїдних величин $u(t)$ та $i(t)$.

Ця формула є універсальною, бо діючі значення напруги і струму можуть визначатися через їх миттєві значення, а не лише через гармоніки рядів Фур'є.

Для значної більшості систем і режимів їх роботи чисельно $S > P$ і тому існує ще одна складова повної потужності, яка в загальному випадку називають неактивною складовою потужності. Найбільш перспективним підходом до визначення неактивної складової є концепція С. Фризе, яка направлена на збереження функціонального характеру описання енергетичних властивостей кіл при синусоїдних і не синусоїдних процесах. Цю складову Q_F він визначив у вигляді

$$Q_F = \sqrt{S^2 - P^2} . \quad (17)$$

Крім цього, виходячи із концепції С. Фриза, можна отримати вираз миттєвої реактивної потужності системи. Дійсно, згідно [12], довільну нелінійну систему, як нелінійний пасивний двополюсник, замінимо двома паралельно з'єднаними елементами: резистивним з опором R , що споживає енергію, та реактивним, котрий її або не споживає, або спочатку накопичує, а

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

потім повертає джерелу. Тоді для довільного інтервалу часу $[0, \dots, \tau]$ струм системи представимо як суму активної i_a і реактивної i_p складових [13]:

$$i(t) = i_a(t) + i_p(t). \quad (18)$$

Помножимо ліву і праву частини (18) на миттєву напругу $u(t)$

$$u(t) \cdot i(t) = u(t) \cdot i_a(t) + u(t) \cdot i_p(t). \quad (19)$$

Ліва частина виразу (19) являється загальною миттєвою потужністю $p(t)$ системи, а права, відповідно, сума миттєвої активної $p_a(t)$ і миттєвої реактивної $q(t)$ потужностей [14, 15]. Тоді

$$p(t) = p_a(t) + q(t) \quad (20)$$

Миттєва активна потужність $p_a(t)$ може бути знайдена як потужність, що

споживається еквівалентним резистором R

$$p_a(t) = R \cdot i_a^2(t) = \frac{u^2(t)}{R}. \quad (21)$$

Оскільки активна потужність P

$$P = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} p(t) dt = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} u(t) \cdot i(t) dt$$

дорівнює активній потужності, що споживає резистор R ($P_a = P$), тоді

$$P_a = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} p_a(t) dt = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} u(t) \cdot i_a(t) dt = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \frac{u^2(t)}{R} dt = \frac{1}{R} \cdot U^2,$$

звідки

$$P = \frac{U^2}{R}, \text{ а } R = \frac{U^2}{P}, \quad (22)$$

де U – діюче значення напруги.

З врахуванням підстановки (22) в (21) вираз (20) прийме вигляд

$$p(t) = \frac{P}{U^2} \cdot u^2(t) + q(t). \quad (23)$$

Звідки миттєва реактивна потужність $q(t)$ системи визначається як

$$q(t) = p(t) - \frac{P}{U^2} \cdot u^2(t). \quad (24)$$

Виходячи із аналізу приведених виразів (16)-(17) та (24), визначення потужностей P , S , Q_F та $q(t)$ (потужність $p(t)$ знаходиться за (14)) в колі зі стохастичними $u(t)$ та $i(t)$ після їх дискретизації (за часом); спектрально-статистичним, на основі дискретного перетворення Фур'є [1,16,17].

Перший метод полягає в наступному. Кожна із реалізацій тривалістю T заданих випадкових функцій напруги $u(t)$ і відповідної їй за режимом реалізації струму $i(t)$ або миттєвої потужності $p(t)$ дискретизація за інтервалом часу Δt , вибраному у відповідностей з теоремою Котельникова [11, 18] (рис.2), і тоді активна потужність P , згідно (15), знаходиться як середнє арифметичне за інтервал часу $[0, T]$:

$$P = \frac{\sum_{n=1}^N u_n \cdot i_n}{N} \quad \text{або} \quad P = \frac{\sum_{n=1}^N p_n}{N}, \quad (25)$$

де u_n , i_n , p_n – "n"-і значення напруги, струму або миттєвої потужності;

N – загальна кількість точок часового квантування за термін часу $[0, T]$.

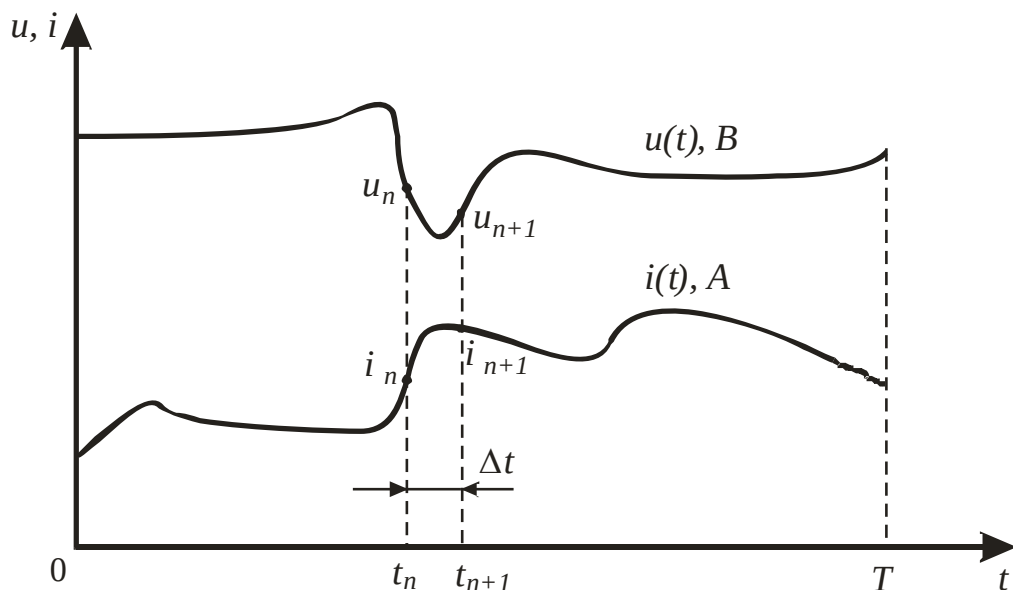


Рис. 8. Дискретизація реалізацій напруги та струму [1]

На перший погляд активну потужність P для розглядуваних режимів можна визначати і як добуток середніх, за час споживання енергії системою, напруги $U_{\text{ср}}$ та струму $I_{\text{ср}}$:

$$P_{\text{ср}} = U_{\text{ср}} \cdot I_{\text{ср}}, \quad (26)$$

$$\text{Де} \quad U_{\text{ср}} = \frac{\sum_{n=1}^N u_n}{N}, \quad I_{\text{ср}} = \frac{\sum_{n=1}^N i_n}{N}. \quad (27)$$

Однак значення потужності P в цьому разі будуть менш точні, бо тоді активна потужність визначається лише потужністю нульової гармоніки (якщо припустити можливість розкладення $u(t)$ та $i(t)$ у ряд Фур'є), оскільки $U_{\text{ср}} = U^{(0)}$, $I_{\text{ср}} = I^{(0)}$. Знайденні за виразом (25) або (26) значення P являють собою випадкові величини при роботі системи у певних режимах за час T .

Для визначення повної потужності S систем із стохастичними $u(t)$ та $i(t)$ також застосовується формула (16), в якій діючі значення U та I знаходять як середні квадратичні за T від дискретних значень

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N u_n^2}{N}}, \quad (28)$$

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N i_n^2}{N}}. \quad (29)$$

Як і P , величина S , а також реактивна потужність Q_{Φ} , що визначається за (17), будуть випадковими величинами.

2.2 Чисельні визначення складових повної потужності, коефіцієнта потужності та коефіцієнта реактивної потужності

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						36
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо діючі значення випадкових процесів напруги U та струму I за виразами (28)-(29).

В цих виразах $N=91$ загальна кількість точок часового квантування за термін часу $[0, T]$.

Після підстановки чисельних значень в формули (28)-(29) одержали

$$I = 625,8 \text{ A}$$

$$U = 3360,4 \text{ B}$$

Активну потужність P_1 визначимо за формулою (25).

Після підстановки чисельних значень отримали, що

$$P_1 = 1113,655 \text{ кВт}$$

Визначимо повну потужність S_1 за формулою (16). Після підстановки чисельних значень отримали

$$S_1 = 2102,839 \text{ кВА}$$

Реактивну потужність Q_{Φ} визначаємо за формулою (17). В результаті отримали

$$Q_{\Phi} = 1783,733 \text{ квар.}$$

Визначимо коефіцієнт потужності та коефіцієнт реактивної потужності моторного вагону для номінального режиму та для режиму з випадковими напругою та струмом.

2.2.1 Для номінального режиму

Вихідні дані: часова потужність $P_{\text{НОМ}} = 240 \text{ кВт}$,

номінальний струм $I_{\text{НОМ}} = 350 \text{ A}$,

номінальна напруга $U_{\text{НОМ}} = 3000 \text{ В}$.

Оскільки при постійних напругах та струмах реактивна потужність

$$Q_{\Phi} = 0, \text{ то } P_{\text{НОМ}} = S_{\text{НОМ}}. \text{ Тоді}$$

$$\lambda = \frac{P_{\text{НОМ}}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{240}{240} = 1$$

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						37
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Одночасно, при $Q_{\Phi} = 0$, коефіцієнт реактивної потужності

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{\Phi}}{P_{\text{ном}}} = \frac{0}{240} = 0$$

2.2.2 Для режиму з випадковими напругою і струмом

Вихідні дані: $P_1 = 1113,655$ кВт, $I = 625,8$ А, $U = 3360,4$ В.

Визначимо повну потужність

$$S_1 = 3360,4 \cdot 625,8 = 2102839,6 = 2102,839 \text{ кВА}.$$

Визначимо коефіцієнт потужності

$$\lambda = \frac{P_1}{S_1} = \frac{1113,655}{2102,839} = 0,53.$$

Реактивна потужність Фриза для режиму з випадковими напругою і струмом дорівнює .

$$Q_{\Phi} = \sqrt{S_1^2 - P_1^2} = \sqrt{2102,839^2 - 1113,655^2} = 1783,733 \text{ квар}.$$

Тоді коефіцієнт реактивної потужності

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{\Phi}}{P_1} = \frac{1783,733}{1113,655} = 1,6.$$

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						38
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

3.1 Методологія визначення к.к.д.

Окрім енергетичних показників λ і $\text{tg}\varphi$ також важливою енергетичною характеристикою будь-якої одиниці електрорухомого складу (отже, електропоїзд ЕПЛ2Т не є виключенням) являється коефіцієнт корисної дії (к. к. д.), який позначають як η . Цей коефіцієнт практично характеризує електромеханічну ефективність роботи електропоїзда і визначається як відношення корисної активної потужності P_2 (на валах тягових двигунів) до підведеної (до електропоїзда) активної потужності $P_1 = UI$ (рис. 9) [8, 20].

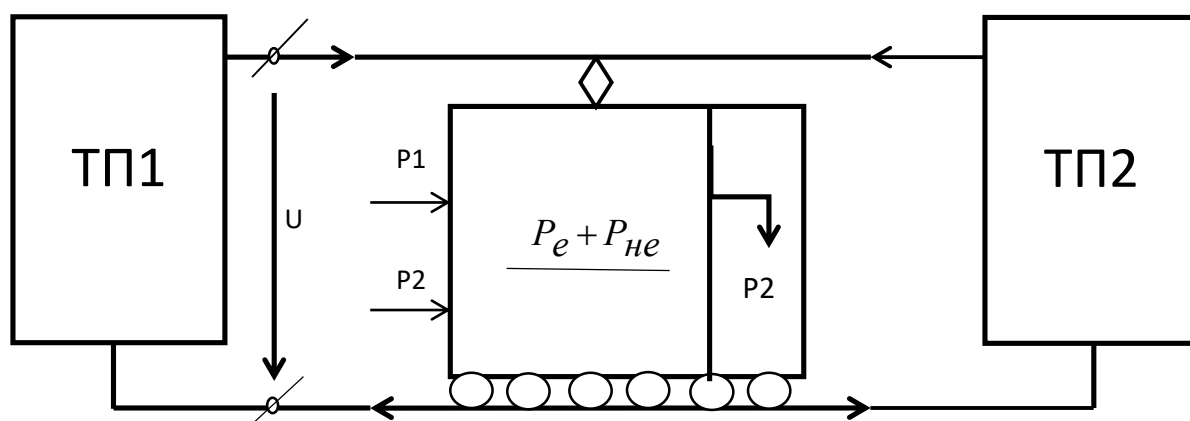


Рис. 9

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - p_{ne} - p_e}{P_1} = 1 - \frac{p_{ne} + p_e}{UI} \quad (30)$$

де p_e – потужність електричних втрат – сума втрат в міді обмоток двигуна і на перехідному опорі електрощіток;

p_{ne} – сумарна потужність магнітних p_{MG} , механічних p_{MX} та додаткових втрат p_D . тобто

$$P_{\text{He}} = P_{\text{MG}} + P_{\text{MX}} + P_{\text{Д}} \quad (31)$$

3.2 Чисельна оцінка загальних втрат потужності

В двигуні постійного струму втрати P_{He} виникають лише при обертанні якоря (при $n=0$ завжди $P_{\text{He}}=0$). Оскільки потужність втрат P_{He} чисельно дорівнює сумі втрат у двигуні за винятком електричних втрат, в подальшому умовно будемо називати їх «неелектричними втратами» [20].

Електричні втрати визначаються як

$$P_{\text{e}} = I^2 r + P_{\text{щ}} \quad (32)$$

Де $P_{\text{щ}} = IU_{\text{щ}}$ - втрати потужності на перехідному опорі електрощіток.

Суму магнітних та механічних втрат

$$P_{\text{xx}} = P_{\text{MG}} + P_{\text{MX}} \quad (33)$$

називають втратами холостого ходу. Їх визначають дослідним шляхом і зазвичай подають у вигляді залежностей $P_{\text{xx}}(n)$ для ряду значень струму збудження, як показано на рис. 10[20].

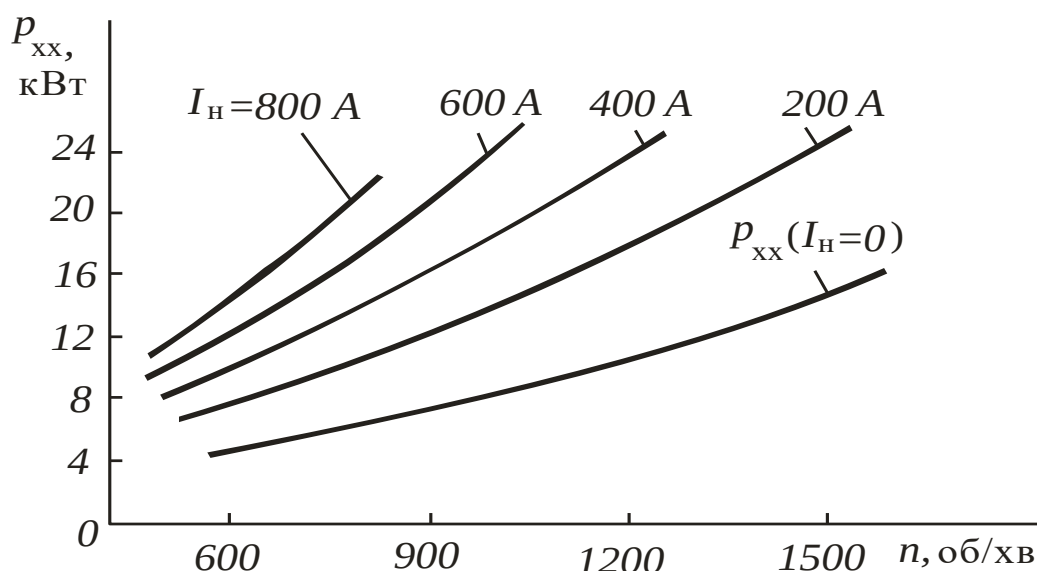


Рис. 10. Втрати холостого ходу двигуна [20]

Графік $p_{xx}(n)$, що відповідає рівному нулю струму збудження є механічними втратами. Магнітні втрати за необхідності визначаються відніманням від втрат холостого ходу механічних втрат.

Додаткові втрати виникають при навантаженні двигуна і містять втрати в конструктивних деталях двигуна від вихрових струмів, в осерді якоря через спотворення магнітного поля, в міді обмоток та вирівнювачів через нерівномірне розподілення струму по перерізу провідника тощо.

У зв'язку із утрудненням аналітичного розрахунку додаткові втрати визначають по рекомендованій ГОСТ 2582-81 та наведеній у табл. 10 залежності відношення p_d / p_{MG} від відносного значення струму якоря

$I^* = I / I_H$, де I_H - струм номінального режиму двигуна.

Таблиця 10 – Додаткові втрати по ГОСТ 2582-81[8, 20]

I^*	0,20	0,60	0,80	1,00	1,30	1,60	2,00
p_d / p_{MG}	0,22	0,23	0,26	0,30	0,38	0,48	0,65

З табл. 10 можна побачити, що додаткові втрати зростають зі збільшенням струмового навантаження двигуна.

Отже, виходячи із зазначеного і приведених втрат потужності (їх виразів), маємо формулу к.к.д. у вигляді:

$$\eta = 1 - \frac{p_{MG} + p_{MX} + p_d + I^2 r + p_{ш}}{UI} \quad (34)$$

Далі скористаємося залежностями $p_{xx}(n)$ (рис. 10): для кривої при $I_B = 0$ і при $n = 1240$ об/хв (це частота обертання якорів двигунів), знаходимо, що $p_{MX} = 10,6$ кВт. Далі, по цьому ж рис.3 для $I_B = 350$ А (часовий режим) та $n = 1240$ об/хв визначаємо втрати у режимі хх.: $p_{xx} = 24,0$ кВт. Це дозволяє оцінити магнітні втрати як:

$$p_{MG} = p_{xx} - p_{MX} = 24,0 - 10,6 = 13,4 \text{ кВт}$$

Тоді додаткові втрати будуть знайдені згідно співвідношенню [3]:

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						41
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_D = 0,3 p_{MG} = 0,3 \cdot 13,4 = 4,02 \text{ кВт.}$$

Отже, неелектричні втрати потужності в одному тяговому двигуні будуть дорівнювати:

$$p_{He} = p_{MG} + p_{MX} + p_D = 13,4 + 10,6 + 4,02 = 28,02 \text{ кВт.}$$

Втрати в перехідному опорі електродіодів визначаються як :

$$p_{\Sigma} = I U_{\Sigma}$$

де $U_{\Sigma} = 2 \dots 3 \text{ В}$ [21].

Користуючись виразом (35) і визначеними складовими втрат, запишемо вираз для к.к.д. для одного моторного вагона електропоїзда. Моторний вагон має 4 послідовно з'єднані двигуна і тому

$$\eta = 1 - \frac{28,02 \cdot 4 + 3I \cdot 4 + 4 \cdot I^2 r}{P_1} = 1 - \frac{112,08 + 12I + 0,88I^2}{P_1} \quad (35)$$

3.3 Результуюча оцінка та аналіз к.к.д.

Користуючись виразом (35), визначимо к.к.д. для наступних режимів роботи для номінального (часового) режиму при постійних напрузі та струму і для режиму з випадковою зміною напруги і струму.

3.3.1 Для номінального режиму

Для номінального (часового) режиму при постійних напрузі $U_{\text{ном}} = 3000 \text{ В}$ і струму $I_{\text{ном}} = 350 \text{ А}$, згідно технічних даних двигуна к.к.д. моторного вагона $\eta = 0,915$.

3.3.2 Для режиму з випадковою зміною напруги і струму

Для режиму роботи зі стохастичними (випадковими) процесами напруги і струму:

а) визначаємо математичне очікування к.к.д., підставивши у формулу (35) P_1 , визначену за формулою (25)

$$M[\eta] = 1 - \frac{112,08 + 12 \cdot 350,7 + 0,88 \cdot 350,7^2}{1113655} = 0,9;$$

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						42
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

б) для визначення дисперсії к.к.д., тобто $D[\eta]$, скористалися методом лінеаризації не лінійної функції $\eta(U, I)$ в(34) [9], згідно якого шукана $D[\eta]$ визначалася так:

$$D[\eta] = \left(\frac{\partial \eta}{\partial U} \right)_m^2 \cdot D[U] + \left(\frac{\partial \eta}{\partial I} \right)_m^2 \cdot D[I]$$

В результаті рахунків отримано, що $D[\eta] = 6,25 \cdot 10^{-4}$, а середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_\eta = \sqrt{D_\eta} = \sqrt{6,25 \cdot 10^{-4}} = 0,025.$$

Тоді згідно «правила трьох сигм» [9], к.к.д. моторного вагона ЕПЛ2Т в стохастичному режимі роботи змінюється в межах : 0,825... 0,975.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги безпеки при експлуатації тягового рухомого складу

На тяговому рухомому складі (ТРС), що експлуатується, повинні бути створенні безпечні і нешкідливі умови праці [22].

З цією метою періодично повинна проводитись атестація робочих місць за умовами праці згідно з Порядком проведення атестації робочих місць за умовами праці, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.92 №442 (НПАОП 0.00-6.23-92).

За результатами атестації на залізницях повинні розроблятися заходи щодо приведення ТРС у відповідність до вимог нормативно-правових актів з охорони праці і, в першу чергу, щодо не перевищення гранично допустимих рівнів шуму, вібрації, напруженості електромагнітних полів, дотримання норм освітленості, мікроклімату, вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Терміни приведення ТРС, що експлуатується, до вимог ГОСТ 12.2.056-81 [23] погоджуються в установленому порядку Державною адміністрацією залізничного транспорту України.

Кожний тип ТРС повинен бути укомплектований справними засобами колективного захисту працівників, що забезпечують безпеку обслуговувати персоналу: блокувальними і огорожувальними пристроями, заземленням, захисними кожухами тощо.

Блокувальні пристрої, стан заземлення, справність огорожень необхідно перевіряти після всіх видів ТО і поточного ремонту та під час кожного приймання (здавання) ТРС.

Не дозволяється приймати в експлуатацію та експлуатувати ТРС з несправностями, що загрожують безпеці руху і порушують вимоги охорони праці, пожежної безпеки і, в першу чергу, якщо пошкоджені або відсутні: блокувальні пристрої дверей (штор) ВВК, шаф, ящиків, панелей пульта

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

управління, легко знімних огорожень електричних машин з напругою вище

42 В змінного струму і вище 110 В постійного струму; заземлення металевих кожухів електрообладнання; огороження конструкцій для кріплення струмопровідних частин; ізоляція електропроводів; огороження механічного обладнання; прилади сигналізації про наявність напруги у ВВК; діелектричні рукавички і килимки; штанги для заземлення первинної обмотки тягового трансформатора (для ТРС змінного струму); ізолювальні штанги для вимикання роз'єднувачів тягових двигунів; знаки безпеки та попереджувальні написи; несправні або відсутні системи пожежної сигналізації і пожежогасіння (якщо рухомий склад був ними обладнаний), несправні або відсутні первинні засоби пожежогасіння.

На ТРС, що експлуатується, повинні бути нанесені написи та знаки безпеки праці:

- напис "Не відчиняти при піднятому струмоприймачі" наноситься на дверях і знімних щитах ВВК, на розміщених поза ВВК ящиках електричних апаратів і на стінках щитів вимірювальних приладів; на панелях пульта управління, що не мають блокування в колах управління струмоприймачів з напругою вище 42 В змінного струму і 110 В постійного струму;

- напис "Не підніматися на дах без заземлення контактного проводу" наноситься на кришках люків чи біля люків і сходів, що ведуть на дах електровозів і електропоїздів;

- знак "Обережно! Електрична напруга" відповідно до ГОСТ 12.4.026-76[24] наноситься на кришках колекторних люків, на остовах допоміжних машин, розміщених поза ВВК, а також на дверях і щитах ВВК, панелях пульта управління, що не мають блокувань у колах управління струмоприймачів;

- напис «Увага! небезпечне місце» наноситься на кожухах апаратів і пристроїв високої напруги, ізольованих від кузова електропоїзда;

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- напис «Не підніматися на дах під контактним проводом» наноситься біля сходів, що ведуть на дах тепловозів і дизель-поїздів; знак «Забороняється користуватися відкритим вогнем» відповідно

- до ГОСТ 12.4.026-76 наноситься на кришках акумуляторних відділень (ящиків);

- напис «Обтирання локомотива дизельним паливом забороняється» наноситься на паливних баках тепловозів і дизель-поїздів.

Дозволяється замінити напис «Не відчиняти при піднятому струмоприймачі» на щитах і дверцятах, які неможливо відчинити без інструменту, на знак «Обережно! Електрична напруга» відповідно до ГОСТ 12.4.026-76.

Дозволяється не наносити знак «Обережно! Електрична напруга» на електричних машинах з напругою нижче 42 В змінного струму і 110 В постійного струму.

У тамбурах МВРС наносяться знаки та написи відповідно до ГОСТ 12.4.026-76 про заборону паління.

Написи та знаки безпеки праці необхідно відновлювати після кожного ремонту і в разі потреби між ремонтами.

На ТРС кожухи електричних приладів, апаратів і корпусів допоміжних машин, до яких можливий дотик обслуговувати персоналу, повинні бути заземлені.

На електропечі електроопалення і електрокалорифери МВРС повинні бути встановлені захисні кожухи, які заземлюються на корпус вагона.

На кожному ТРС повинні бути такі засоби індивідуального та колективного захисту:

- діелектричні рукавички на напругу вище 1000 В (по одній парі на кожного працівника локомотивної бригади);
- діелектричні килимки (у кожній кабіні локомотива);

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						46
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- штанги для заземлення первинної обмотки тягового трансформатора (тільки для ТРС змінного струму - одна на секцію локомотива);
- штанги ізолювальні для вимикання роз'єднувачів тягових двигунів (одна на секцію локомотива);
- ізолювальні протигази (для кожного члена локомотивної бригади);
- три пари шумно ізолювальних навушників (на тепловозах і дизель - поїздах).

ТРС повинен бути забезпечений установками пожежогасіння, вогнегасниками і пожежним обладнанням за встановленими нормами.

Наявність і стан інструменту і засобів індивідуального захисту необхідно перевіряти під час кожного ТО, під час поточних ремонтів, а також під час приймання і здавання ТРС локомотивними бригадами.

Засоби індивідуального захисту необхідно періодично випробовувати відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів.

Дозволяється проводити випробування засобів захисту раніше встановленого терміну під час чергових ремонтів ТРС.

Не дозволяється застосовувати засоби захисту без відмітки про випробування.

У локомотивному депо повинен бути встановлений порядок обліку засобів захисту, а також їх зберігання, видавання і випробування.

Секція багатосекційного локомотива, що використовується для маневрової або поїзної роботи, повинна бути обладнана додатковим прожектором ззаду.

Механізм розчеплення з вагоном на маневрових локомотивах повинен приводитися в дію з кабіни локомотива.

Бокові вікна, входні двері в кабіну повинні бути в справному стані, мати ущільнення (надійні фіксатори і замки).

Подушки сидіння крісла, механізм установки висоти сидіння, підлокітники повинні бути у справному стані.

Крісло повинно мати надійну фіксацію з підлогою кабіни і регулюватися з урахуванням індивідуальних антропометричних характеристик працівника.

Вікна кабіни повинні мати скло без тріщин і механічних пошкоджень. На випадок руйнування скла лобового вікна кабіни машиніста на шляху прямування на ТРС повинен бути спеціальний щит для закриття отвору, що виник.

Склоочисники кабіни повинні утримуватися в справному стані. У вимкненому положенні вони не повинні заважати локомотивній бригаді вести спостереження.

На ТРС, обладнаному склообігрівачами і склообмивачі, повинна забезпечуватися їх надійна робота.

Склообмивачі необхідно систематично промивати.

Лобові вікна кабіни повинні бути оснащені справними сонцезахисними екранами відповідно до вимог ГОСТ 12.2.056-81.

На кабінах з обох боків зовні перед боковими вікнами повинні бути встановлені дзеркала заднього виду.

Перед відсувними вікнами кабіни треба встановити поворотні запобіжні вітрові щитки, а над вікнами - жолобки для стоку дощової води (для маневрових локомотивів - козирки завширшки 100-150 мм).

Системи загального і місцевого освітлення кабіни, пульта і машинного відділення повинні бути в справному стані, працювати в установлених режимах і мати необхідне число електроламп і ковпачків світлофільтрів.

Не дозволяється довільна заміна арматури джерел світла, світлофільтрів, а також застосування електричних ламп іншої, ніж передбачено паспортом ТРС, потужності.

Стійка апаратури дистанційного управління СБОТ повинна мати підсвічування від загального освітлення машинного відділення.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						48
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкостеміри і швидкостемірні стрічки повинні мати додаткове підсвічування.

Підлога, стіни і стеля кабіни і машинного відділення після ремонту чи ТО повинні бути відновлені, ущільнені, особливо в місцях уведення трубопроводів і органів управління.

Для підлоги кабіни необхідно застосовувати лінолеум, який відповідає вимогам ДСТУ 4493:2005 [25], ГОСТ 12.2.056-88.

У кабіні машиніста магістральних локомотивів не повинно бути розрідження повітря при зачинених вікнах і дверях.

Відкриті частини опалювальних пристроїв, що мають температуру вище $+45^{\circ}\text{C}$, повинні бути огорожені.

Опалювальні пристрої повинні бути обладнані регуляторами температури.

Установки кондиціювання повітря опалювально-вентиляційних пристроїв на ТРС необхідно утримувати у справному стані.

На ТРС, обладнаному системами автоматичної підтримки температури повітря, при роботі опалювально-вентиляційної установки і кондиціонера температура повітря в кабіні повинна підтримуватися взимку в межах $+22\pm 2^{\circ}\text{C}$, а влітку - $+24\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Якщо температура зовнішнього повітря вище $+35^{\circ}\text{C}$, температура в кабіні ТРС повинна бути на $10-12^{\circ}\text{C}$ нижче температури навколишнього повітря.

Час досягнення заданого значення температури повітря в кабіні після увімкнення кондиціонера не повинен перевищувати 12 хвилин.

На ТРС, обладнаному тільки опалювально-вентиляційними установками, улітку повинна бути забезпечена подача в кабіни локомотива зовнішнього повітря.

Люки і дефлектори природної вентиляції повинні регулюватися, мати надійне ущільнення і не пропускати холодне повітря узимку.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						49
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Кольорове оформлення агрегатів і елементів ТРС, що впливає на безпеку праці та руху, повинно бути виконане відповідно до ГОСТ 12.2.056-81.

Шафа для одягу повинна мати необхідне число гачків. У кабінах, не обладнаних шафами для одягу, повинна бути вішалка з полицею для головних уборів і гачками для верхнього одягу.

Для зберігання продуктів харчування локомотивних бригад у кабіні ТРС повинен бути холодильник.

У кабіні машиніста повинні бути місця (або гнізда) для розміщення двох термосів.

ТРС, що має в колах управління напругу 42 В і вище, повинен бути оснащений для підігрівання їжі спеціальною електроплиткою з розеткою для її підключення, що встановлена у спеціально обладнаному місці, закріплена і має відповідну пам'ятку щодо безпечної експлуатації.

Санітарний вузол (умивальник, унітаз) на ТРС слід утримувати у чистоті та періодично піддавати дезінфекції.

Баки з водою повинні мати пристрої для обігрівання.

У місцях екіпірування ТРС на ПТОЛ або станціях, в місцях відправлення поїздів необхідно вчасно та регулярно заповнювати баки водою.

На новозбудованому ТРС повинні бути екологічно чисті туалети.

У кабіні машиніста повинні бути встановлені дві попільнички.

У кабіні ТРС повинне бути спеціальне місце для зберігання аптечки з набором медикаментів для надання першої допомоги. В аптечці повинна бути відповідна інструкція з правил надання першої допомоги.

Маневрові локомотиви, призначені для обслуговування одним машиністом, повинні бути обладнані другим пультом управління, який дозволяє здійснювати: екстрене гальмування; екстрену зупинку дизеля; зміну напрямку руху локомотива; зміну швидкісного режиму дизеля; подачу піску під колісні пари.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						50
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатково повинні бути встановлені: манометр тиску повітря в гальмових циліндрах; кнопки управління переднім і заднім автозчепами; кран допоміжного гальма; пульт управління радіостанцією; світлова сигналізація зменшення навантаження.

Зазначені прилади і сигналізатори повинні бути розташовані на другому пульті управління чи переносному пульті дистанційного управління локомотивом.

Зовні, на даху з обох боків кабіни, повинні бути встановлені світильники з оранжевими світлофільтрами для сигналізації місцезнаходження машиніста і дзеркала зворотного виду.

Увімкнення відповідного світильника повинно бути автоматичним при зміні пульта управління, а дзеркала повинні забезпечувати огляд зони маневрової роботи локомотива.

Магістральні локомотиви, призначені для обслуговування одним машиністом, повинні бути обладнані дзеркалами зворотного виду, що встановлюються зовні на бічних стінках кабіни; пристроями, що сигналізують машиністові, який перебуває на стоянці поза кабіною, про виклик його по радіоканалу; пристроєм автоматичної зупинки поїзда на випадок раптової втрати машиністом спроможності керувати ним; пристроєм попередньої світлової сигналізації перед свистком електропневматичного клапана і контролю цілісності гальмової магістралі; додатковою сигналізацією нормального функціонування компресорів; системою фізіологічного контролю пильності машиніста; пристроєм, що виключає самовільний відхід локомотива (поїзда) із стоянки за відсутності машиніста в кабіні.

Перелік додаткових приладів і устаткування, що встановлюються на локомотивах для обслуговування одним машиністом, повинен бути узгоджений з Головним управлінням безпеки руху Державної адміністрації залізничного транспорту України.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						51
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Дії персоналу підприємств залізничного транспорту в аварійних ситуаціях

У Державному класифікаторі надзвичайних ситуацій [26] наведено перелік надзвичайних ситуацій (НС), які можуть виникнути на окремій території України чи об'єкті в різних галузях національного господарства країни, в тому числі і на залізничному транспорті. Під час експлуатації локомотивів найбільш розповсюдженою НС є виникнення пожежі.

Працівники залізничного транспорту у разі виявлення пожежі зобов'язані [27]:

- негайно повідомити про це телефоном пожежну охорону (при цьому необхідно назвати адресу об'єкта, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище) і вжити заходів щодо виклику на місце пожежі керівника підприємства або іншої компетентної посадової особи;
- вжити заходів до евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі і збереження матеріальних цінностей.
- Керівник підприємства або інша посадова особа, яка прибула до місця пожежі, зобов'язані:
 - продублювати повідомлення про пожежу в пожежну частину;
 - залучити до гасіння пожежі добровільну пожежну дружину об'єкта, довести подію до відома власника підприємства;
 - у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування, використовуючи для цього всі існуючі сили та засоби;
 - видалити за межі небезпечної зони всіх працюючих, не пов'язаних з ліквідацією пожежі;
 - припинити всі роботи (якщо це можливо за технологічним процесом виробництва), крім робіт, пов'язаних з гасінням пожежі;

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- здійснити, у разі необхідності, відключення електроенергії (за винятком живлення систем протипожежного захисту), зупинення пристроїв, агрегатів, апаратів, перекриття сировинних, газових, парових та водяних комунікацій, систем вентиляції в аварійному і суміжних з ним приміщеннях (за винятком пристроїв протидимового захисту) та виконати інші заходи, які сприяють запобіганню розвитку пожежі і задимленості будівлі;
- перевірити включення в роботу автоматичних систем протипожежного захисту (сповіщення людей про пожежу, пожежогасіння, протидимового захисту);
- здійснювати керівництво гасінням пожежі до прибуття пожежної охорони з урахуванням специфічних особливостей об'єкта, що горить;
- забезпечити захист людей, які беруть участь у гасінні пожежі, від можливих авалів конструкцій, ураження електрострумом, отруєнь, опіків;
- організувати зустріч пожежної охорони і надати допомогу у виборі найкоротшого шляху для під'їзду до місця пожежі та в установці на водні джерела;
- одночасно з гасінням пожежі організувати евакуацію матеріальних цінностей і забезпечити їхнє збереження;
- у разі необхідності викликати до місця пожежі медичну та інші аварійно-рятувальні служби.

Після прибуття підрозділів пожежної охорони керівник об'єкта (підрозділу) або інша посадова особа, керуюча гасінням пожежі, поступає в підпорядкування керівника гасіння пожежі і діє за його вказівками

Представник об'єкта в оперативному штабі пожежогасіння зобов'язаний консультувати керівника гасіння пожежі про специфічні особливості об'єкта, що горить {його технології, небезпеку впливу на апарати та матеріали високої температури пожежі і продуктів горіння тощо).

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації магістерської роботи полягають у наступному.

1. Напруга на струмоприймачі та тяговий струм тягового електродвигуна постійного струму є випадковими процесами з розподілом близьким по закону Гауса з функцією математичного сподівання для напруги $m_U(t) = 3359,89 \text{ В}^2$ і дисперсією $D_U(t) = 40708,98 \text{ В}^2$. Випадкові коливання напруги знаходяться в межах 2870 В до 3800 В при номінальному 3000 В для контактної мережі. Тяговий струм змінюється в діапазоні від 20 А до 1600 А (без вибігу струму) і від 0 до 1600А (з вибігом струму).

2. Визначення енергетичних показників електропоїзда з урахуванням випадкового характеру зміни напруги на струмоприймачі $u(t)$ та тягового струму $i(t)$, доцільно здійснювати методом "дискретної електротехніки".

3. Фактичне стохастичне значення коефіцієнта потужності моторного вагону електропоїзда ЕЛП2Т λ помітно нижче 1, що характерно для номінального режиму постійних напруги і струму. Із розрахунку отримали, що його середня величина λ становить 0,53.

4. Внаслідок безперервного регулювання в широкому діапазоні потужності ТЕД стохастичний характер тягового навантаження викликає зниження його к.к.д. до 0,825, що нижче номінальної паспортної величини 0,915, наведених для ТЕД цього типу.

5. При експлуатації підвищення ефективності електроспоживання ТЕД можливо на підставі таких підходів: розробка оптимальних за критерієм втрат потужності і коефіцієнта потужності режимних карт ведення поїздів; компенсація неактивної складової тягового струму ТЕД; компенсація низькочастотних періодичних коливань тягового струму ТЕД.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						54
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Костин Н. А. Коэффициент мощности электроподвижного состава постоянного тока [Текст] / Н. А. Костин, О. И. Саблин // Електротехніка і електромеханіка. – 2005. – №1 – . С. 97-101.

2. Теория электрической тяги [Текст]: учебник для студ. вузов / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Нью Сидоров, М. И. Озеров – М.: Транспорт, 1995. – 328 с.

3. Маевский О. А. Энергетические показатели вентильных преобразователей [Текст] / О. А. Маевский. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.

4. Krejger L. P. Der Einflub eines Quecksilberdampfgleichrichters auf den Leistungsfaktor des Netzes [Текст]/ L. P. Krejger / Elektrotechn. Z. – 1925. – Н. 2. – S. 286-287.

5. Krejger L. P. Die Messung der Blindleistung beim Quecksilberdampfgleichrichters [Текст] / L. P. Krejger / Elektrotechn. Z. – 1925. – Н. 2. – S. 48-50.

6. Зиновьев Г. С. Прямые методы расчета энергетических показателей вентильных преобразователей [Текст] / Г. С. Зиновьев. – Новосибирск: изд-во Новосиб. ун-та, 1990. – 220 с.

7. Поляков Н. Г. Об одном методе оценки эффективности электропотребления при несимметричных линейных нагрузках [Текст] / Н. Г. Поляков, В. В. Кийко // Технічна електродинаміка. Тем.вип. «ПСЕ – 2002». – 2002. – Ч. 7. – С. 86-89.

8. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги [Текст]: монография в 2 т. / Г. К. Гетьман. – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2011, Т.2. – 452 с.

9. Вентцель Е. С. Теория вероятностей [Текст]: учебник для студ. вузов / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1965. – 576 с.

10. Петров А. В. Непродуктивні втрати електроенергії в системі електропостачання електричної тяги постійного струму: дис. канд. техн. наук: 05.22.09 / Петров Андрій Володимирович; Дніпропетр. нац. ун-т залазн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2011. – 226 с.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						55
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / И. С. Гоноровский. – М.: Сов. радио, 1977. – 608 с.

12. Миттева реактивна потужність у системах електричного транспорту постійного струму [Текст] / М. О. Костін, О. І. Саблін, О. Г. Шейкіна та ін. // Гірнича електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2006. – Вип. 79. – С. 3-8.

13. Саєнко Ю. Л. Реактивна потужність в системах електропостачання з нелінійними навантаженнями: автореф. дис. на здобуття наук.ступеня доктора техн. наук: спец. 05.09.05 «Теоретична електротехніка» / Ю. Л. Саєнко. – Львів, 2003. – 36 с.

14. Крогерис А. Ф. Оценка энергетических процессов по мгновенной мощности [Текст] / А. Ф. Крогерис, К. К. Раешевиц, Э. П. Трейманис и др. // Электричество. – 1987. – №7. – С. 31-35.

15. Костин Н. А., Шейкина О. Г. Признаки неактивной мощности в системах электрического транспорта постоянного тока [Текст] // Гірнича електромеханіка та автоматика. – 2015. – вип. 94. – С. 48-55.

16. Костин Н. А. Реактивная мощность в системах электрического транспорта постоянного тока[Текст]/ Н. А. Костин, О. И. Саблин // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2005. – Вип. 15. – С. 75-80.

17. Саблин О. И. Система электрической тяги постоянного тока – система непостоянного тока[Текст]/ О. И. Саблин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 14. – С. 67-72.

18. Костін М. О. Реактивная мощность в устройствах систем электрической тяги [Текст] / М. О. Костін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 73-76.

19. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления [Текст]/ Г. М. Фихтенгольц. – М.: Наука, 1966. – Т. 3. – 656 с.

					0024.ДМР 20.14 БФ.ПЗ	Арк.
						56
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

20. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги [Текст]: монография в 2 т./ Г. К. Гетьман. –Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2011, Т.1. – 364 с.

21. Подвижной состав электрических железных дорог. Тяговые электромашины и трансформаторы [Текст] / Д.Д. Захарченко и др.. – М.: Транспорт, 1968. – 296 с.

22. НПАОП 63.21-1.17-08 Правила безпечної експлуатації електровозів, тепловозів та моторвагонного рухомого складу. – К.: 2008

23. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электровозы и тепловозы колеи 1520 мм: ГОСТ 12.2.056-81. Введ. 27.05.81.– М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 27 с.

24. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные и знаки безопасности: ГОСТ 12.4.026-76. Введ.24.05.1976.– М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 34 с.

25. ДСТУ 4493:2005Вагони магістральні пасажирські дизель- та електропотягів. Вимоги щодо безпеки / розроб. А. Донченко та ін.. - Вид. офіц. - Чинний від 01.01.2007. - К. : Держспоживстандарт України, 2007. - III, 16 с. - (Національний стандарт України). - Бібліогр.: с. 15-16.

26. Державний класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. Чинний від 01.01.2011. – К.,- 2010.

27. Про затвердження Правил пожежної безпеки на залізничному транспорті.Наказ№1322від21.12.2009р. Сайт Верховної ради України. [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0230-10#> .

28. Конспект лекцій по охрані труда. – ДНУЗТ. [Електрон. ресурс] / Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5412659/page:33/>.