

ЗАЯВА

Я, Шірінзад Мохсен

(ПІБ повністю)

Студент групи ЕП201 І

(шифр гр:-ни)

Спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та

(код та назва спеціальності)

електромеханіка

освітньої програми Електромеханічні системи автоматизації та

(назва освітньої програми)

електропривод

освітнього ступеня підготовки магістр

(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему: Розрахунки та аналіз технологічних втрат електричної енергії в електровозах ВЛ1 ІМ

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений з чинним <<Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат>, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

«12» листопада 2021 р.


Підпис

Керівник роботи

Ольга ШЕЙКІНА
ПБ


Підпис

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій

Кафедра Електротехніка та електромеханіка

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри
 /Андрій МУХА/
« 22 » 12 2021 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 **Розрахунки та аналіз технологічних втрат електричної енергії в електровозах ВЛ11м**

Theme **Calculations and analysis of technological losses of electrical energy in electric locomotives VL11m**

Керівник дипломної роботи

доц.  Ольга ШЕЙКІНА

Нормоконтролер

доц.  Оксана КАРЗОВА

Студент групи ЕП2021і

 Мохсен ШІРІНЗАД
Shirinzad Mohsen

Student

Дніпро – 2021

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		1

Український державний університет науки і технологій
Факультет Управління енергетичними процесами
кафедра Електротехніка та електромеханіка
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри


(підпис)


(ПІБ)

«01» 05 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної магістерської роботи на здобуття ОКР магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

студента групи ЕП2011 Мохсена Шірінзада Кіюмарса
(номер групи) (ПІБ)

1. Тема дипломної роботи «Розрахунки та аналіз технологічних витрат електричної енергії в електровозах ВЛ11М»

затверджена наказом по університету № 799ст від «31» грудня 2020 р.

2. Термін подання студентом закінченої роботи 14 грудня 2021р.

3. Вихідні дані до дипломної роботи

1. Статистичні дані вихідної напруги на струмоприймачі та тягового струму електровозу ВЛ11М.

2. Технічні дані двигуна

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

1.Розділ 1 Технічні характеристики електровозів ВЛ11М та імовірнісно-статистичний аналіз їх випадкових електротягових напруг і струмів

2. Розділ 2 Методи визначення і чисельні розрахунки складових повної потужності.

3. Розділ 3 Визначення та аналіз технологічних втрат електроенергії в силових тягових колах електровозів ВЛ11М.

4. Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

1. Імовірно-статистичний аналіз випадкової величини напруги на струмоприймачі та тягового струму електровозу ВЛ11М.

2. Оцінка складових повної потужності.

3. Методологія визначення основних та додаткових втрат електроенергії.

4. Чисельна оцінка основних та додаткових втрат електроенергії в силових колах електровозів ВЛ11М.

6.	Розділ	Консультант	Підпис, дата	
			Завдання видав	Завдання прийняв
	Оцінка тягово-та енергетичних характеристик електровозів ВЛ11М	Савік О.І.		

Дата видачі завдання: « 07 » вересня 2021 р.

Керівник дипломної роботи


(підпис)

Шевченко О.Т.
(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання


(підпис)

Шевченко О.Т.
(ПІБ)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу дипломної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Технічні характеристики електровозів ВЛ11М та імовірно-статистичний аналіз їх випадкових електротягових напруг і струмів		
2	Методи визначення і чисельні розрахунки складових повної потужності		
3	Визначення та аналіз технологічних втрат електроенергії в силових тягових колах електровозів ВЛ11М		

Студент-дипломник


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

0024.ДМР21.07.ПЗ

Лист

3

Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему "Розрахунки та аналіз технологічних витрат електричної енергії в електровозах ВЛ11М" містить: 59 сторінок основного тексту, 8 таблиць, 11 рисунків, 25 літературних джерел.

Мета роботи – оцінка впливу випадкового характеру зміни напруги і струму на технологічні витрати електричної енергії в електровозах постійного струму ВЛ11М.

В **розділі 1** виконано імовірісно-статистичну обробку статистичних даних напруги на струмоприймачі і тягового струму електровоза ВЛ11М на основі теорії випадкових величин.

В **розділі 2** визначено складові повної потужності електровоза для режиму з випадковими напругою і струмом.

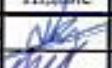
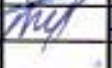
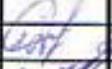
В **розділі 3** визначено продуктивні і непродуктивні втрати електроенергії в силових колах електровозів ВЛ11М.

В **розділі 4** розглянуто охорону праці та безпеку життєдіяльності в

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОВАЗ, ВИПАДКОВІ ПРОЦЕСИ, ТЯГОВИЙ СТРУМ, РЕЄСТОГРАМА, ГІСТОГРАМА, НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН, ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ, ПОТУЖНІСТЬ ФРИЗЕ, ПРОДУКТИВНІ ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, НЕПРОДУКТИВНІ ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11М ТА ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЇХ ВИПАДКОВИХ ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ НАПРУГ І СТРУМІВ.....	9
1.1. Обґрунтування вибору типу електровозів.....	9
1.2. Призначення і технічні дані електровозів ВЛ11М.....	10
1.2.1. Основні параметри та тягові характеристики електровоза.....	11
1.2.2. Технічні дані тягового електродвигуна типу ТЛ-2К1.....	13
1.3. Імовірно-статистична обробка випадкового процесу напруги на струмоприймачі електровоза.....	15
1.4. Імовірнісний аналіз тягового струму електровоза.....	21
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ І ЧИСЕЛЬНІ РОЗРАХУНКИ СКЛАДОВИХ ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	28
2.1. Загальні зауваження.....	28
2.2. Метод «дискретної електротехніки».....	29
2.3. Метод дискретного перетворення Фур'є.....	30
2.4. Чисельна оцінка активної, реактивної і повної потужностей електровоза ВЛ11М.....	34
РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИЛОВИХ ТЯГОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11М.....	36
3.1. Класифікація технологічних втрат енергії	36
3.2. Метод визначення продуктивних і непродуктивних втрат енергії в силових колах електровозів ВЛ11М.....	39

					Пояснювальна записка			
					Розрахунки та аналіз технологічних витрат електричної енергії в електровозах ВЛ11М	Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арж.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Моисей Шірінгал		30.01			1	1:1
Перевір.		Шейкіна О. Г.		20.12				
Т. Контр.					0024.ДМР21.07.ПЗ	Арж.	5	Аркуші 59
Реценз.						УДУНТ, гр. 264-М		
Н. Контр.		Карцова О. О.		20.12				
Затверд.		Муха А. М.		20.12				

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1.Вимоги безпеки праці під час виконання робіт на робочому місці.....	47
4.2. Дії працівників в надзвичайних ситуаціях.....	53
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ.....	60
ДОДАТОК А.....	61

ВСТУП

Електрифіковані залізниці України на сьогодні оплачують тільки за споживані активну і реактивну електроенергії. В наукових дослідженнях ефективність тягового електроспоживання оцінюють лише за критеріями мінімуму споживання і вартості активної електроенергії. Без уваги залишаються технологічні (технічні) втрати електроенергії, що є помилковим згідно основ сучасної промислової енергетики. У зв'язку з обмеженням енергоресурсів в Україні, в нових економічних умовах, з економічної точки зору найбільш визначальним показником ефективності тягового електроспоживання є технологічні втрати електроенергії. Від загальних втрат останні складають значний процент (до 20%) і характеризують не тільки технічну сторону транспортування електроенергії, але і якість організації і контролю процесу електропостачання. Технологічні втрати розподіляють на продуктивні (основні) і непродуктивні (додаткові). Із факторами неякісності енергії, які включають в себе потужності: реактивну (в класичному розумінні), викривлення, несиметрії і нерівномірності, пов'язані непродуктивні втрати. Їх необхідно визначати розрахунками, щоб знизити до мінімуму, оскільки для їх безпосередніх вимірювань приладів не існує, і до значних помилок призводить їх визначення за різницями показників лічильників електроенергії. Основною характеристикою ефективності систем електропостачання і електроспоживання є рівень саме непродуктивних втрат, а не кількість виробленої і спожитої енергії, так вважається в промисловій енергетиці, що є цілком закономірним, так як об'єм спожитої електроенергії може бути зменшеним, а втрати зростають. На сьогодні вартість додаткових (непродуктивних) втрат енергії в Україні складає не менше 2 млрд. дол. США і вони подвоюють кожні 3-5 років. Помилковим є те, що на електрифікованих залізницях ці втрати не розраховуються, не контролюються, не обліковуються і це потребує виправлень.

Згідно основ теоретичної електротехніки [1], втрати потужності ΔP (чи енергії ΔW) – це втрати в резистивних елементах системи, які володіють опором R і по яких за термін часу t протікає струм I , тобто це: $\Delta W = \Delta P \cdot t = RI^2 t$. Із цієї

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

формули впливає, що втрати енергії ΔW залежать від діючого значення струму I , а остання, як відомо, у свою чергу, залежить від форми миттєвого струму, що протікає по системі.

Також загальновідомо, що рух електрорухомого складу (ЕРС) забезпечується (теоретично) постійною напругою номінального значення $U_{ном}$ і, отже, постійним струмом I . Якби це виконувалось в дійсності, тоді витрати активної електроенергії в силових колах ЕРС визначалися би (користуючись вищенаведеним виразом) дуже просто: $\Delta W = R_e I^2 t$, де R_e – еквівалентний опір силових кіл ЕРС.

Однак, фактично, і напруга на струмоприймачі ЕРС U , і його тяговий струм I є змінними в часі, навіть різкозмінними несинусоїдними, тобто вони являють собою випадкові в часі (отже, стохастичні) процеси (рисунок), що далі позначатимемо як $U(t)$, $I(t)$. Стохастичний характер зміни $U(t)$, $I(t)$ обумовлений технологічними імовірнісними факторами: масою і швидкістю руху ЕРС, профілем залізничної колії, режимом ведення ЕРС (кваліфікацією водія) тощо.

Отже, в дійсності ЕРС споживає змінний струм, а, як відомо, із теоретичної електротехніки [1], протікання по електричному колу змінного струму обумовлює споживання елементами цього кола (тут – тягового кола ЕРС), як активної, так і реактивної складових зазначеного повного струму. Тобто, оцінку загальних втрат енергії ΔW в силових колах ЕРС неможливо визначити за вищенаведеними формулами. Таким чином, розробка методу і чисельна оцінка втрат активної енергії (чи тільки потужності) в силових тягових колах ЕРС з урахуванням стохастичного характеру змін $U(t)$, $I(t)$ постає актуальною задачею.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11М ТА ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЇХ ВИПАДКОВИХ ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ НАПРУГ І СТРУМІВ

1.1. Обґрунтування вибору типу електровозів

Технологічні втрати електроенергії мають місце в силових тягових колах усіх типів ЕРС, у тому числі і електровозів. В представленій роботі в якості досліджуваного типу електровозів вибрані електровози типу ВЛ11М, виходячи із наступних міркувань.

По-перше, на сьогодні їхня кількість в Укрзалізниці найбільша (після застарілих електровозів типу ВЛ8), складає ≈ 120 одиниць і саме вони найчастіше використовуються на залізницях України.

По-друге, електровози ВЛ11М є відносно новими і найбільш потужними електровозами постійного струму і тому Урядовими програмами вони планувались, та й зараз плануються в якості альтернативи морально застарілих типів електровозів, а також їх використання на важливих ділянках ряду залізниць. Зокрема, комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки передбачалось широке оновлення морально і фізично застарілих електровозів за рахунок закупівлі нового сучасного рухомого складу та модернізації існуючого [2].

Означені заходи, спрямовані на підвищення ефективності експлуатації електровозів, особливо важливі для забезпечення перевезень вантажних поїздів по гірським маршрутам Карпат, як між станціями Львів (Клепарів) – Сколе (Любинці) – Лавочне – Воловець – Свалява – Мукачево – Чоп Львівської залізниці, де водіння одного вантажного поїзду здійснюється з використанням чотирьох двосекційних електровозів ВЛ11М, які приєднуються та від'єднуються від потягу по мірі його руху на підйомі та спуску, а саме існуюча на Львівській залізниці технологія застосування електровозів серії ВЛ11М для вантажних перевезень через гірський перевал Бескид у Карпатах вимагає того, щоб важкий вантажний потяг вагою 5...6 тис. тон, який з одним електровозом змінного

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

струму приходить на станцію Львів-Захід, розформувався на цій станції до ваги 4600 т. Потім для подальшого його транспортування в напрямку станції Чоп, в голову потягу ставиться один двосекційний електровоз постійного струму ВЛ11М, оскільки далі ця лінія електрифікована постійним струмом.

Нарешті, оскільки ці електровози є найбільш потужними, то вони споживають найбільшу реактивну енергію, яка обумовлює непродуктивні втрати енергії, тож саме тому актуальним є оцінити ці втрати.

1.2. Призначення і технічні дані електровозів ВЛ11М

Модернізований магістральний вантажний електровоз ВЛ11М [3] багатосекційного формування є модифікацією електровоза ВЛ11 і призначений для експлуатації на вантажонапружених електрифікованих ділянках залізниць з шириною колії 1520 мм і напругою в контактній мережі 3000 В постійного струму.

Дослідний зразок електровоза ВЛ11М був випущений у 1986 році Тбіліським електровозобудівним заводом за проектом Спеціального проектно-конструкторського бюро науково-виробничого об'єднання «Електровозостроитель». Серійний випуск електровоза розпочато з 1987 р. Завод випускає електровози ВЛ11М в двосекційному виконанні. Секції однотипні. В процесі експлуатації електровози можуть бути сформовані з трьох або чотирьох секцій (два двосекційних електровози), керованих по системі багатьох одиниць.

Зовнішні розміри електровоза відповідають вимогам габариту 1-Т ГОСТ 9238-83. Основне обладнання електровоза придатне для умов експлуатації при впливі механічних факторів зовнішнього середовища, нормованих групами М25 (безпосередні частини), М26 (розташоване на візках) і М27 (розташоване в кузові) згідно ГОСТ 17516-72.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
						10
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.1. Електровоз ВЛ11М багатосекційного формування

Все електричне обладнання розраховане на надійну роботу при підвищенні напруги в контактній мережі до 4000 В і зниженні до 2200 В, температурі навколишнього середовища (поза кузова) від -50 до $+40^{\circ}\text{C}$ ($+55^{\circ}\text{C}$ в кузові), верхній відносної вологості повітря 90% при $+27^{\circ}\text{C}$.

Кузов, екіпажна частина, пневматичне і основне електричне обладнання електровоза ВЛ11М уніфіковані з електровозами постійного струму ВЛ10, ВЛ10У і ВЛ11, а також змінного струму ВЛ80р і ВЛ80с.

1.2.1 Основні параметри та тягові характеристики електровоза

Основні параметри і характеристики електровозів серії ВЛ11М [3] наведено в табл.1; тягові характеристики електровоза – на рис. 1.2.

Таблиця 1.1 – Основні параметри і характеристики електровозів

Показники	Значення показників за кількістю секцій електровоза		
	2	3	4
Осьова характеристика	$2(2_o - 2_o)$	$3(2_o - 2_o)$	$4(2_o - 2_o)$
Потужність на валах тягових електродвигунів, кВт:			
годинного режиму	5360	8040	10720
тривалого режиму	4600	6900	9200

Продовж. табл.1.1

Сила тяги, кН:			
годинного режиму	387	581	774
тривалого режиму	314	471	628
зі швидкістю 100км/год і найбільшим ослабленням збудження	137	206	274
Швидкість км/год:			
конструкційна	100		
годинного режиму	48,7		
тривалого режиму	51,2		
К.к.д. тривалого режиму, не менш	0,88		
Те саме без урахування допоміжних машин, не менш	0,9		
Передаточне відношення зубчастої передачі	88/23		
Натискання колісної пари на рейки, кН	225 ^{+6,75} _{-2,25}		
Різниця натискання на рейки між колесами однієї осі, не більш, кН	4,9		
Маса з $\frac{2}{3}$ запасу піску, т	184 ^{+5,52} _{-1,84}	276 ^{+8,28} _{-2,76}	368 ^{+11,04} _{-3,68}
Висота осі автозчепу від головки рейки при нових бандажах, мм	1040 – 1080		
Діаметр колеса по колу кочення при нових бандажах, мм	1250		
Найменший радіус прохідних кривих зі швидкістю 10 км/год, м	125		
Висота від головки рейки до робочої поверхні полозу струмоприймача, мм:			
в опущеному положенні	5120		
в робочому	5500 – 7000		

Продовж. табл. 1.1

Довжина електровоза по осях автозчепу	32880	49260	65760
Жорстка база візка, мм		3000	
Ширина кузова, мм		3160	

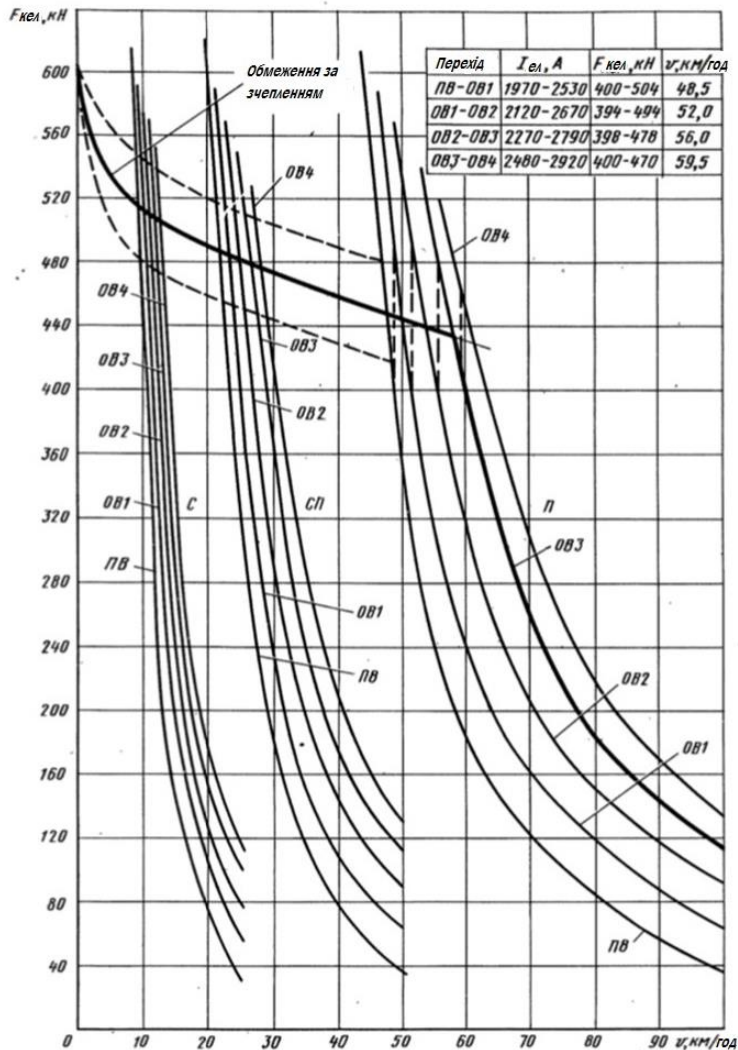


Рис. 1.2. Тягові характеристики електровоза ВЛ11М

1.2.2 Технічні дані тягового електродвигуна типу ТЛ-2К1

На електровозі встановлені тягові електродвигуни ТЛ-2К1 [3] потужністю годинного режиму 670 кВт. Обертаючий момент, передається від тягового електродвигуна на колісну пару через двосторонню одноступінчасту

циліндричну косозубу передачу. При такій передачі підшипники електродвигуна не отримують додаткових навантажень по аксіальному напрямку.

Тяговий електродвигун постійного струму ТЛ-2К1 призначений для перетворення електричної мережі, в механічну в тяговому режимі, а в рекуперативному режимі – для перетворення механічної інерційної енергії електровоза в електричну.

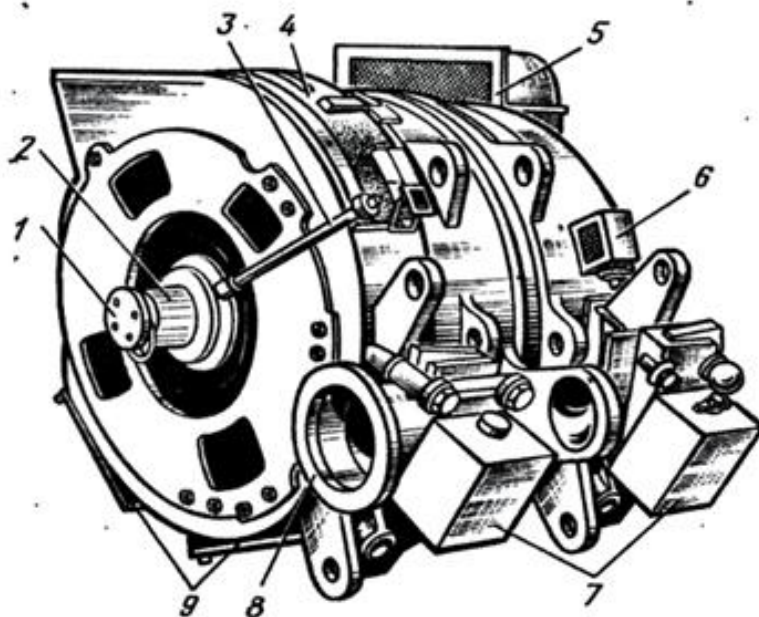


Рис. 1.3. Тяговий електродвигун ТЛ-2К1:

1 — фасонний болт; 2 — вал якоря; 3 — трубка заправки масла; 4, 9 — оглядові лючки; 5, 6 — вентиляційні отвори; 7 — букси моторно-осьових підшипників; 8 — моторно-осьові підшипники

Тяговий двигун виконаний для опорно-осьового підвішування. З одного боку він спирається моторно-осьовими підшипниками на вісь колісної пари електровозу, а з іншого – на раму візка через шарнірну підвіску і гумові шайби. Тяговий електродвигун має високий коефіцієнт використання потужності (0,74) при максимальній швидкості електровоза. Збудження електродвигуна в тяговому режимі – послідовне, а в рекуперативному – незалежне. Система вентиляції незалежна, аксіальна, з подачею повітря, що вентиліює зверху в колекторну камеру і викидом вгору з протилежного боку вздовж осі електродвигуна.

Технічні дані електродвигуна ТЛ-2К1 приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні дані електродвигуна ТЛ-2К1

Показники	Одиниці вимірювання	Значення показників
Напруга на затискачах електродвигуна	В	1500
Струм	А	480
Потужність	кВт	670
Частота обертання	об / хв	790
К.к.д.	в.о.	0,931
Струм	А	410
Потужність	кВт	575
Частота обертання	об/хв	830
К.п.д	в.о.	0,93
Клас ізоляції за нагрівостійкістю		F
Найбільша частота обертання при середньозношених бандажах	об/хв	1690
Передатне відношення		88/23
головних полюсів	Ом	0,0254
додаткових полюсів і компенсаційних котушках	Ом	0,033
якоря	Ом	0,036
Кількість вентильованого повітря не менше	м³/хв	95
Маса без шестерні	кг	5000

1.3 Імовірісно-статистична обробка випадкового процесу напруги на струмоприймачі електровоза

Статистичні дані, що оброблені в цій роботі, були отримані на Львівській залізниці при руху трьох пасажирських поїздів маршрутом Чоп-Львів, масою відповідно 420 т, 540 т, 1260 т і відповідно кількістю вагонів 7, 9, 21.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

Статистичні дані напруги на струмоприймачі електровоза ВЛ11М, В: 3480, 3450, 3460, 3630, 3520, 3580, 3800, 3690, 3700, 3630, 3630, 3530, 3600, 3710, 3680, 3610, 3580, 3690, 3610, 3700, 3750, 3710, 3800, 3800, 3650, 3550, 3650, 3550, 3520, 3600, 3700, 3600, 3580, 3580, 3500, 3530, 3620, 3560, 3400, 3410, 3550, 3500, 3590, 3670, 3600, 3530, 3530, 3650, 3580, 3780, 3890, 3670, 3740, 3800, 3620, 3650, 3650, 3600, 3580, 3600, 3955, 3430, 3810, 3630, 3600, 3710, 3740, 3870, 3600, 3460, 3400, 3620, 3470, 3910, 3570, 3500, 3550, 3570, 3610, 3550, 3750, 3780, 3830, 4010, 3860, 3770, 3930, 3650, 3630, 3520, 3410, 3420, 3460, 4000, 3120, 3050, 3210, 3390, 3360, 3390, 3240, 3470, 3400, 3510, 3510, 3470, 3370, 3410, 3560, 3550, 3570, 3580, 3410, 3580, 3610, 3670, 3470, 3370, 3400, 3400, 3350, 3250, 3300, 3250, 3160, 3400, 3520, 3180, 3400, 3340, 3380, 3340, 3350, 3380, 3300, 3400, 3380, 3350, 3400, 3400, 3450, 3580, 3490, 3600, 3600, 3650, 3620, 3660, 3500, 3600, 3530, 3390, 3270, 3300, 3350, 3250, 3335, 3210, 3520, 3480, 3300, 3330, 3340, 3370, 3660, 3250, 3330, 3280, 3400, 3400, 3340, 3450, 3220, 3400, 3490, 3600, 3520, 3700, 3480, 3390, 3570, 3360, 3030, 3100, 2520, 2680, 3200, 3280.

Розділяємо діапазон значень статистичної вибірки на інтервали. Для цього знаходимо значення $U_{\max}$, $U_{\min}$.

$$U_{\max} = 4010 \text{ В}, U_{\min} = 2520 \text{ В}.$$

Розраховуємо ΔU :

$$\Delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{1 + 3,2 \cdot \lg n} = \frac{4010 - 2520}{1 + 3,2 \cdot \lg 188} = 180 \text{ В}$$

Визначаємо межі інтервалів напруги:

$$2520 + 180 = 2700 \text{ В}$$

$$2700 + 180 = 2880 \text{ В}$$

$$2880 + 180 = 3060 \text{ В}$$

$$3060 + 180 = 3240 \text{ В}$$

$$3240 + 180 = 3420 \text{ В}$$

$$3420 + 180 = 3600 \text{ В}$$

$$3600 + 180 = 3780 \text{ В}$$

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$3780 + 180 = 3960 \text{ В}$$

$$3960 + 180 = 4140 \text{ В}$$

Групуємо значення статистичної вибірки напруги за інтервалами (табл.1.3):

Таблиця 1.3 – Значення статистичної вибірки напруги за інтервалами

№	Межі інтервалів	Частота, m_i	Частість інтервалів $W = \frac{m_i}{n}$	Статистична ймовірність $f = \frac{W}{\Delta U} \cdot 10^4$
1	2520 – 2700	2	0,0106	0,6
2	2700 – 2880	0	0	0
3	2880 – 3060	2	0,0106	0,6
4	3060 – 3240	9	0,0479	2,7
5	3240 – 3420	52	0,2766	15,4
6	3420 – 3600	67	0,3564	19,8
7	3600 – 3780	42	0,2234	12,4
8	3780 – 3960	12	0,0638	3,5
9	3960 – 4140	2	0,0106	0,6

Визначаємо числові характеристики досліджуваної випадкової величини напруги.

Математичне сподівання напруги:

$$M_U = \frac{\sum U}{n} = \frac{3480 + 3450 + 3460 + \dots + 3280}{188} = 3510,48 \text{ В}$$

Дисперсія напруги:

$$D_U = \frac{\sum (U_i - M_U)^2}{n} = \frac{(3480 - 3510,48)^2 + \dots + (3280 - 3510,48)^2}{188} = 41557,48 \text{ В}^2$$

Середнє квадратичне відхилення напруги:

$$\sigma_U = \sqrt{D_U} = \sqrt{41557,48} = 203,86 \text{ В}$$

Коефіцієнт асиметрії напруги:

$$As_U = \frac{\sum (U_i - M_U)^3}{n \cdot \sigma_U^3} = \frac{(3480 - 3510,48)^3 + \dots + (3280 - 3510,48)^3}{155 \cdot 203,86^3} = -0,83$$

Екссес напруги:

$$Ex_U = \frac{\sum (U_i - M_U)^4}{n \cdot \sigma_U^4} - 3 = \frac{(3480 - 3510,48)^4 + \dots + (3280 - 3510,48)^4}{155 \cdot 203,86^4} - 3 = 3,36$$

Обираємо теоретичний закон (криву) розподілення для побудованого статистичного розподілу (гістограми). В цьому випадку обирається нормальний закон розподілу (розподіл Гауса):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - M_x)^2}{2\sigma_x^2}} \quad (1.1)$$

Розраховуємо значення $f(U)$ і W_T для напруги табл. 1.4 та будуємо криву нормального закону розподілу (рис. 1.4).

Виконуємо перевірку узгодженості теоретичного та статистичного розподілів (табл.1.5). Для цього використовуємо критерій узгодженості «критерій χ^2 » Пірсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^l \frac{(m_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i} \quad (1.2)$$

Таблиця 1.4 – Таблиця розрахунку теоретичного розподілення напруги

№	U_i	$U_i - M_U$ В	$\frac{(U_i - M_U)^2}{n \cdot \sigma_U^2} =$ $= \frac{x^2}{2}$	$\frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	$f(U) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_U};$ $\times 10^{-4}$	$W_T =$ $= f(U) \times$ $\times \Delta U$
1	2520	-990,48	11,8	0,0000029	0,000146	$0,0263 \cdot 10^{-4}$
2	2610	-900,47	9,7	0,000023	0,00011	$0,2 \cdot 10^{-4}$
3	2700	-810,47	7,9	0,00072	0,0072	$1,3 \cdot 10^{-4}$
4	2790	-720,5	6,2	0,00077	0,038	$6,8 \cdot 10^{-4}$
5	2880	-630,46	4,78	0,0033	0,0164	0,0029
6	2970	-540,45	3,5	0,012	0,058	0,01
7	3060	-450,5	2,4	0,035	1,7	0,031
8	3150	-360,4	1,56	0,084	4,4	0,074
9	3240	-270,4	0,88	0,165	8,1	0,146
10	3330	-180,4	0,32	0,27	13,0	0,238
11	3420	-90,4	0,098	0,362	17,7	0,319
12	3510	-0,4	$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,399	19,6	0,352
13	3600	89,6	0,097	0,362	17,8	0,32
14	3690	179,6	0,39	0,271	13,3	0,239
15	3780	269,6	0,87	0,166	8,16	0,147
16	3870	359,6	1,55	0,084	4,13	0,074
17	3960	449,6	2,43	0,035	1,7	0,031
18	4050	539,6	3,5	0,012	0,59	0,011
19	4140	629,6	4,77	0,0033	0,17	0,003

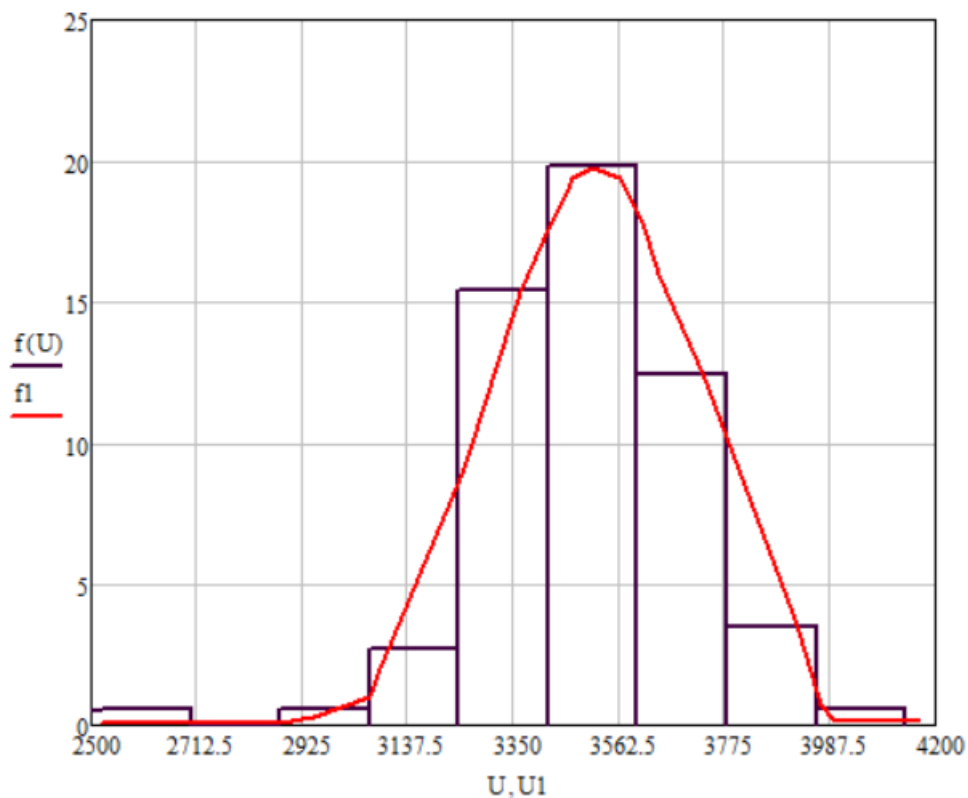


Рис. 1.4. Статистичний розподіл (1) та нормальний закон (2) розподілу напруги

Таблиця 1.5 – Розрахункова таблиця критерія узгодженості Пірсона для розподілення напруги

№	Межі інтервалів	m_i	$\frac{U_{i+1} - M_U}{\sigma_U}$	$\Phi^*(4)$	$\frac{U_i - M_U}{\sigma_U}$	$\Phi^*(6)$	$p_i = \Phi^*(4) - \Phi^*(6)$	$n \cdot p_i$	χ^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2520-2700	2	-3,970	0,0000	-4,859	0,0000	0,0000	0	2
2	2700-2880	0	-3,093	0,0001	-3,976	0,0000	0,0001	0,0188	0,0188
3	2880-3060	2	-2,21	0,0136	-3,093	0,0001	0,0135	2,5	0,1

Продовж. табл. 1.5

4	3060- 3240	9	-1,327	0,0923	-2,210	0,0136	0,0787	14,8	2,27
5	3240- 3420	52	-0,444	0,3290	-1,327	0,0923	0,2367	44,5	1,26
6	3420- 3600	67	0,439	0,6669	-0,444	0,329	0,3379	63,5	0,19
7	3600- 3780	42	1,322	0,9069	0,439	0,6669	0,2400	45,1	0,21
8	3780- 3960	12	2,205	0,9877	1,322	0,9069	0,0808	15,2	0,67
9	3960- 4140	2	3,088	0,9989	2,205	0,9877	0,0112	2,1	0,0048

Визначаємо кількість ступенів свободи: кількість інтервалів $l = 9$, кількість накладених зв'язків $S = 3$

$$r = l - S = 9 - 3 = 6$$

Значення χ^2 для напруги:

$$\chi_U^2 = 4,72;$$

По таблиці залежності χ^2 від r та p знайдемо ймовірність p для напруги: $p_U = 0,2$. Значення p_U задовольняє умові відповідності теоретичного закону розподілу (нормальний закон) статичному закону (гістограмі).

1.4 Імовірнісний аналіз тягового струму електровоза

Статистичні дані тягового струму електровоза, А: 450; 620; 380; 130; 130; 480; 340; 500; 500; 490; 330; 480; 640; 510; 210; 250; 0; 120; 580; 260; 190; 0; 190; 200; 500; 150; 300; 400; 155; 600; 500; 500; 300; 410; 210; 420; 450; 210; 650; 400; 320; 470; 660; 200; 400; 600; 420; 400; 600; 830; 560; 250; 140; 220; 500; 200; 450; 300;

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

70; 100; 90; 150; 100; 810; 500; 400; 400; 490; 420; 410; 420; 900; 440; 720; 900; 600; 600; 550; 1200; 810; 250; 270; 500; 500; 800; 980; 700; 900; 180; 700; 600; 600; 500; 490; 450; 620; 380; 130; 130; 480; 340; 500; 500; 490; 330; 480; 640; 510; 210; 250; 0; 120; 580; 260; 190; 0; 190; 200; 500; 150; 300; 400; 155; 600; 500; 500; 300; 410; 210; 420; 450; 210; 650; 400; 320; 470; 660; 200; 400; 600; 420; 400; 600; 830; 560; 250; 140; 220; 500; 200; 450; 300; 70; 100; 90; 150; 100; 810; 500; 400; 400; 490; 420; 410; 420; 900; 440; 720; 900; 600; 600; 550; 1200; 810; 250; 270; 500; 500; 800; 980; 700; 900; 180; 700; 600; 600; 500; 490.

Розподіляємо діапазон значень статистичної вибірки на інтервали. Для цього знаходимо значення $I_{\max}$, $I_{\min}$.

$$I_{\max} = 1200 \text{ A}, I_{\min} = 0 \text{ A}.$$

Розраховуємо ΔI :

$$\Delta I = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{1 + 3,2 \cdot \lg n} = \frac{1200 - 0}{1 + 3,2 \cdot \lg 188} = 145 \text{ A}$$

Визначаємо межі інтервалів струму:

$$0 + 145 = 145 \text{ A}$$

$$145 + 145 = 290 \text{ A}$$

$$290 + 145 = 435 \text{ A}$$

$$435 + 145 = 580 \text{ A}$$

$$580 + 145 = 725 \text{ A}$$

$$725 + 145 = 870 \text{ A}$$

$$870 + 145 = 1015 \text{ A}$$

$$1015 + 145 = 1160 \text{ A}$$

$$1160 + 145 = 1305 \text{ A}$$

Групуємо значення статистичної вибірки струму по інтервалам (табл.1.6).

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 1.6 – Значення статистичної вибірки струму за інтервалами

№	Межі інтервалів	Частота, m_i	Частість інтервалів $W = \frac{m_i}{n}$	Статистична ймовірність $f = \frac{W}{\Delta I} \cdot 10^4$
1	0 – 145	20	0,106	7,3
2	145 – 290	36	0,1911	13,2
3	290 – 435	38	0,202	13,9
4	435 – 580	48	0,255	17,6
5	580 – 725	28	0,149	10,3
6	725 – 870	8	0,043	3,0
7	870 – 1015	8	0,043	3,0
8	1015 – 1160	0	0	0
9	1160 – 1305	2	0,011	0,7

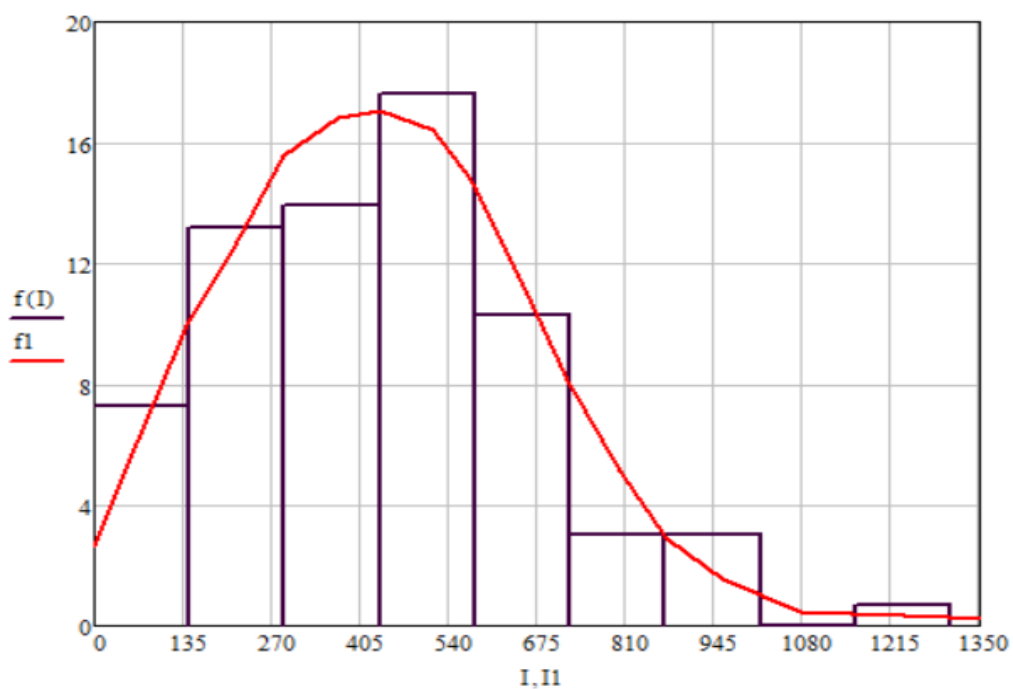


Рис. 1.5. Статистичний розподіл струму

Визначаємо числові характеристики досліджуваної випадкової величини струму.

Математичне сподівання струму:

$$M_I = \frac{\sum I}{n} = \frac{450 + 620 + 380 + \dots + 490}{188} = 433 \text{ А}$$

Дисперсія струму:

$$D_I = \frac{\sum (I_i - M_I)^2}{n} = \frac{(450 - 433)^2 + \dots + (490 - 433)^2}{188} = 54014,48 \text{ А}^2$$

Середнє квадратичне відхилення струму:

$$\sigma_I = \sqrt{D_I} = \sqrt{54014,48} = 232,41 \text{ А}$$

Коефіцієнт асиметрії струму:

$$As_I = \frac{\sum (I_i - M_I)^3}{n \cdot \sigma_I^3} = \frac{(450 - 433)^3 + \dots + (490 - 433)^3}{155 \cdot 232,41^3} = 0,52$$

Експес струму:

$$Ex_I = \frac{\sum (I_i - M_I)^4}{n \cdot \sigma_I^4} - 3 = \frac{(450 - 433)^4 + \dots + (490 - 433)^4}{155 \cdot 232,41^4} - 3 = 0,31$$

Обираємо теоретичний закон (криву) розподілення для побудованого статистичного розподілу (гістограми). В цьому випадку обирається нормальний закон розподілу (розподіл Гауса) (1.1).

Розраховуємо значення $f(U)$ і W_T для струму табл. 1.7 та будуємо криву нормального закону розподілу.

Виконуємо перевірку узгодженості теоретичного та статистичного розподілів (табл. 1.8). Для цього використовуємо критерій узгодженості «критерій χ^2 » Пірсона: (1.2).

Таблиця 1.7 – Таблиця розрахунку теоретичного розподілення струму

№	I_i	$I_i - M_I$ А	$\frac{(I_i - M_I)^2}{n \cdot \sigma_I^2} =$ $= \frac{x^2}{2}$	$\frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	$f(I) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_I} :$ $\times 10^{-4}$	$W_T =$ $= f(I) \times$ $\times \Delta I$
1	0	-433	1,74	0,07	3,026	0,044
2	72,5	-360,5	1,2	0,12	5,154	0,075
3	145	-288	0,77	0,185	7,964	0,115
4	217,5	-215,5	0,43	0,26	11,17	0,162
5	290	-143	0,189	0,33	14,2	0,206
6	362,5	-70,5	0,046	0,381	16,4	0,238
7	435	1,9	$3,5 \cdot 10^{-5}$	0,399	17,2	0,249
8	507,5	74,4	0,051	0,379	16,3	0,236
9	580	146,9	0,2	0,327	14,1	0,204
10	652,5	219,4	0,446	0,256	11,0	0,159
11	725	294,9	0,789	0,181	7,8	0,113
12	797,5	364,4	1,229	0,117	5,0	0,073
13	870	436,8	1,767	0,068	2,9	0,043
14	942,5	509,3	2,4	0,036	1,6	0,023
15	1015	581,8	3,13	0,017	0,75	0,011
16	1087,5	654,3	3,9	0,007	0,33	0,005
17	1160	726,8	4,89	0,003	0,13	0,002
18	1232,5	799,3	5,9	0,001	0,0046	0,0007
19	1305	871,8	7,0	0,0004	0,015	0,0002

Розрахуємо значення χ^2 для струму:

Таблиця 1.8 – Розрахункова таблиця критерія узгодженості Пірсона для розподілення струму

№	Межі інтервалів	m_i	$\frac{U_{i+1} - M_I}{\sigma_I}$	$\Phi^*(4)$	$\frac{U_i - M_I}{\sigma_I}$	$\Phi^*(6)$	$p_i = \Phi^*(4) - \Phi^*(6)$	$n \cdot p_i$	χ^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0 – 145	20	-1,239	0,1077	-1,864	0,0311	0,0766	14,4	2,18
2	145 – 290	36	-0,616	0,2689	-1,239	0,1077	0,1612	30,3	1,07
3	290 – 435	38	0,008	0,5032	-0,616	0,2689	0,2689	50,6	3,14
4	435 – 580	48	0,632	0,7363	0,008	0,5032	0,2331	43,8	0,40
5	580 – 725	28	1,256	0,8955	0,632	0,7363	0,1592	29,9	0,12
6	725 – 870	8	1,88	0,9699	1,256	0,8955	0,0744	14	2,57
7	870 – 1015	8	2,503	0,9938	1,88	0,9699	0,0239	4,5	2,72
8	1015 – 1160	0	3,127	0,9991	2,503	0,9938	0,0053	1,0	1
9	1160 – 1305	2	3,751	0,9999	3,127	0,9991	0,0008	0,15	22,8

Визначаємо кількість ступенів свободи: кількість інтервалів $l = 9$, кількість накладених зв'язків $S = 3$

$$r = l - S = 9 - 3 = 6$$

Значення χ^2 для струму:

$$\chi_I^2 = 36$$

По таблиці залежності χ^2 від r та p знайдемо ймовірність p для струму:
 $p_1 = 0,000001$. Оскільки значення p_1 не задовольняє умові відповідності теоретичного закону розподілу (нормальний закон) статичному закону (гістограмі), то потрібно вибрати інший теоретичний закон.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ І ЧИСЕЛЬНІ РОЗРАХУНКИ СКЛАДОВИХ ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

2.1 Загальні зауваження

В основі аналізу ефективності електроенергетичних процесів, а отже і оцінки енергетичних характеристик, у системах електричної тяги міститься задача вимірювання приладами або аналітичного визначення складових повної потужності. Електронні мікропроцесорні лічильники вимірюють з великою точністю різні характеристики потужності й енергії. Без помилок вони однак працюють практично лише в усталених режимах, при синусоїдних напругах і струмах і в симетричних системах. В інших системах, якими і є система електропостачання (СЕТ) постійного і змінного струмів, існуючі, особливо індукційні, лічильники електроенергії можуть вимірювати адекватно тільки активну потужність, всі інші енергетичні характеристики оцінюються з істотними похибками [4, 5, 6]. Ці похибки зростають особливо, при різкозмінних величинах напруги й струму й, більше того, якщо вони являють собою випадкові процеси, що є характерним для електричних тягових мереж (ТМ). Отже, результати розрахунків технологічних втрат електроенергії, які базуються на показаннях лічильників електроенергії, в пристроях електропостачання за методикою [7], є дуже неточними.

Тому найбільш правильний шлях оцінки складових повної потужності і їхніх втрат є розрахунковий, на основі експериментально отриманих у реальних експлуатаційних умовах реєстрограм зміни в часі напруги на струмоприймачі електровоза $U(t)$ і його тягового струму $I(t)$. Можливо застосування класичного Фур'є-аналізу для визначення складових повної потужності, якщо $U(t)$ і $I(t)$ є несинусоїдними і періодичними. Однак застосування класичного спектрального аналізу неправомірно до реальних часових залежностей струмів і напруг в електровозі, оскільки вони є реалізаціями відповідних випадкових процесів,.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

Отже, доцільне використання апарата теорії випадкових процесів для визначення енергетичних характеристик, у цьому випадку.

У цьому підрозділі для вирішення зазначеної задачі розглядаються два методи: метод «дискретної електротехніки» [9] та метод дискретного перетворення Фур'є.

2.2. Метод «дискретної електротехніки»

Метод «дискретної електротехніки», у якому реалізовані ідеї точкового обчислення академіка АН УРСР Г. Е. Пухова, полягає в наступному. Кожну реалізацію тривалістю T (найчастіше добову) заданих випадкових функцій напруги $u(t)$ й відповідну їй реалізацію струму $i(t)$ або миттєвої потужності $p(t)$ дискретизують з інтервалом часу Δt , обраним відповідно до теореми Котельникова [10] (рис.2.1):

$$t_1, t_2, \dots, t_n, \dots, t_N;$$

$$t_{n+1} = t_n + \Delta t; N = \frac{T}{\Delta t},$$

де N – загальна кількість точок часового квантування за час $[0; T]$.

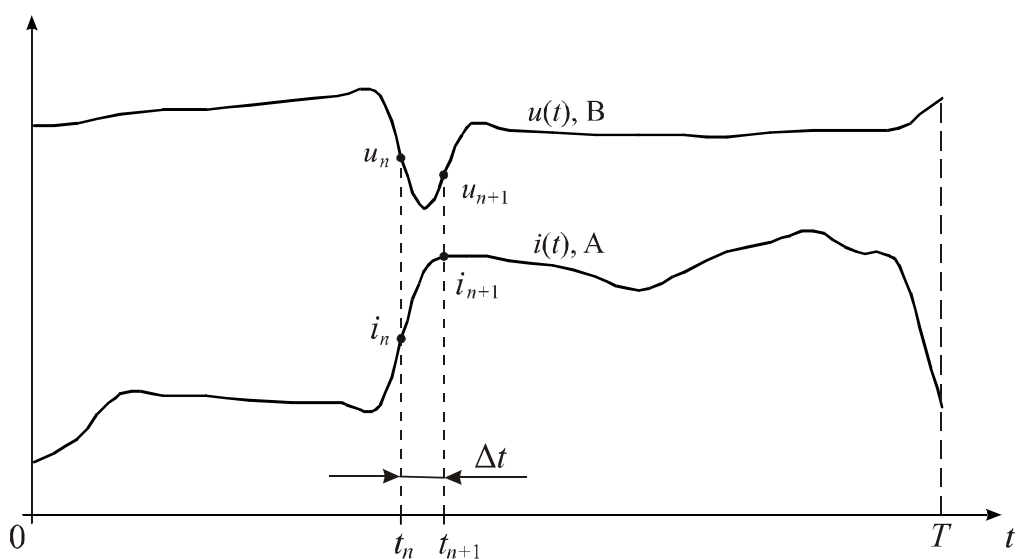


Рис. 2.1. Дискретизація реалізацій часових залежностей миттєвих величин напруги та струму

У результаті маємо дискретні значення напруги $u(t)$ й струму $i(t)$:

$$u(t_1) = u_1, u(t_2) = u_2, \dots, u(t_n) = u_n, \dots, u(t_N) = u_N;$$

$$i(t_1) = i_1, i(t_2) = i_2, \dots, i(t_n) = i_n, \dots, i(t_N) = i_N.$$

Тоді миттєва потужність у довільний момент часу t_n буде дорівнювати

$$p(t_n) = p_n = u_n(t_n)i_n(t_n) = u_n i_n, \quad (2.1)$$

а активна потужність

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N p_n = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n i_n. \quad (2.2)$$

Діючі значення напруги й струму визначаються як

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n^2}, \quad (2.3)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N i_n^2}. \quad (2.4)$$

Повна потужність

$$S = UI. \quad (2.5)$$

Неактивна потужність (реактивна потужність по Фризе), яку називають також неактивною або пасивною, або фіктивною потужністю:

$$Q_\Phi = \sqrt{S^2 - P^2}. \quad (2.6)$$

2.3 Метод дискретного перетворення Фур'є

Умовою використання другого методу, методу дискретного перетворення Фур'є, визначення потужностей є така тривалість T реалізацій $u(t)$ й $i(t)$, при якій встигають виявитися всі найбільш істотні для практики їх властивості (наприклад середньоквадратичні значення). Тоді кожен таку реалізацію $u(t)$ й $i(t)$ можна розглядати як детерміновану несинусоїдну функцію (позначимо її як $f(t)$) не на інтервалі $[0, T]$, а продовжену періодично за межі вищевказаного

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

інтервалу, тобто необхідно перетворити неперіодичну функцію в періодичну з довільним періодом T (рис.2.2), для якої справедливим є розкладання в ряд Фур'є [9].

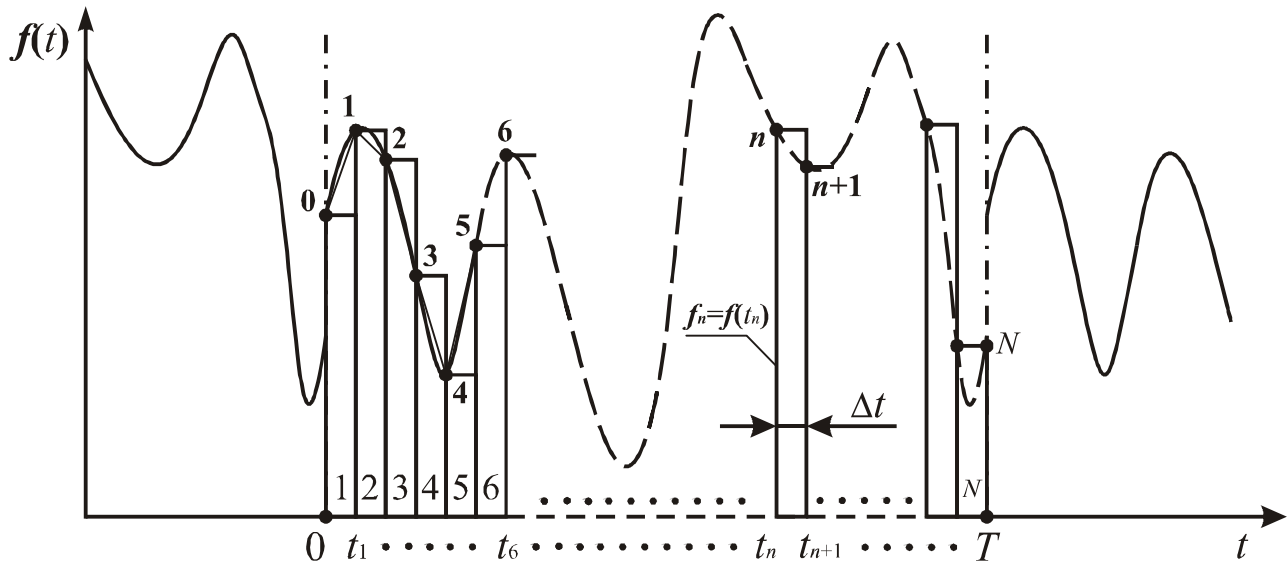


Рис. 2.2. Апроксимація реалізації випадкової функції $f(t)$ послідовністю δ -імпульсів

Однак функція $f(t)$ несинусоїдна й тому застосування відомого прямого інтегрального перетворення Фур'є

$$F(j\omega) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt = F(\omega)e^{j\psi(\omega)}$$

для спектрального аналізу реалізації цієї випадкової функції практично є важким, а тому необхідно використовувати дискретне перетворення Фур'є. Для чого дискретизуємо довільну реалізацію функції $f(t)$ на інтервали часу $\Delta t = t_{n+1} - t_n$ (рис. 2.2) також за теоремою Котельникова. На рис. 2.2: N – загальна кількість інтервалів дискретизації; $n = 1, 2, \dots, N$; тоді $\Delta t = \frac{T}{N}$.

У результаті дискретизації одержуємо послідовність δ -імпульсів, помножених на значення $f(n\Delta t)$ функції $f(t)$ в момент взяття відліків

$$f_{\delta}(n\Delta t) = \sum_{n=1}^N f(n\Delta t)\delta(t - n\Delta t),$$

або, переходячи до безрозмірних інтервалів дискредитації, одержуємо

$$f_{\delta}(n) = \sum_{n=1}^N f(n) \delta\left(\frac{t}{\Delta t} - n\right). \quad (2.7)$$

Підставимо вираз у формулу спектральної густини «n»-го прямокутного імпульсу

$$F(j\omega_k) = \int_{t_n}^{t_{n+1}} f_{\delta}(n) e^{-j\omega_k t} dt,$$

маємо

$$F(j\omega_k) = \int_{t_n}^{t_{n+1}} \sum_{n=1}^N f(n) \delta\left(\frac{t}{\Delta t} - n\right) e^{-j\omega_k t} dt, \quad (2.8)$$

Змінюючи порядок інтегрування й додавання, а також з огляду на «фільтруючу» властивість δ -функції й те, що дискретна кругова частота

$\omega_k = \frac{2\pi}{T} k$, а $t_n = n\Delta t$, отримаємо (2.8) у вигляді

$$\begin{aligned} F(j\omega_k) &= \sum_{n=1}^N f(n) \int_{t_n}^{t_{n+1}} \delta\left(\frac{t}{\Delta t} - n\right) e^{-j\frac{2\pi}{T} kt} dt = \\ &= -\frac{T}{j2\pi k} \sum_{n=1}^N f(n) \left[e^{-j\frac{2\pi}{T} k(t_n + \Delta t)} - e^{-j\frac{2\pi}{T} kt_n} \right] = \\ &= -\frac{T}{j2\pi k} \sum_{n=1}^N f(n) \left[e^{-j\frac{2\pi}{T} k(n+1)\Delta t} - e^{-j\frac{2\pi}{T} kn\Delta t} \right] = F(\omega_k) e^{-j\psi(\omega_k)}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Тоді амплітуда $A_m^{(k)}$ k -ої гармоніки шуканого ряду Фур'є функції $f(t)$

$$f(t) = \sum_{k=1}^5 A_m^{(k)} \sin(k\omega t + \psi^{(k)})$$

визначиться за формулою

$$A_m^{(k)} = \frac{2F(\omega_k)}{T}, \quad (2.10)$$

а початкова фаза $\psi^{(k)}$ – у відповідності з (2.9).

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

Надалі, після зазначеного розкладання в тригонометричний ряд кожної реалізації випадкових функцій $u(t)$ й $i(t)$, визначення активної потужності виконується за відомими виразом [1]:

$$P = \sum_{k=1}^n U^{(k)} I^{(k)} \cos \varphi^{(k)}, \quad (2.11)$$

а повної S і неактивної Q_ϕ відповідно за формулами (2.10) та (2.11), де U та I – діючі значення несинусоїдних напруги й струму, які визначаються за відомими виразами теорії кіл несинусоїдного струму [1]:

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^n U^{(k)2}}; \quad I = \sqrt{\sum_{k=0}^n I^{(k)2}}.$$

2.4 Чисельна оцінка активної, реактивної і повної потужностей електровоза ВЛ11М

Діючі значення випадкових процесів електротягових напруги U та струму I визначимо за виразами (2.3)-(2.4)

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n^2} = \sqrt{\frac{3480^2 + 3450^2 + 3460^2 + \dots + 3280^2}{188}} = 3516,4 \text{ В},$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N i_n^2} = \sqrt{\frac{450^2 + 620^2 + 380^2 + \dots + 490^2}{188}} = 491,4 \text{ А}.$$

Активну потужність P визначимо за формулою (2.2)

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N p_n = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n i_n =$$

$$= \frac{3480 \cdot 450 + 3450 \cdot 680 + 3460 \cdot 380 + \dots + 3280 \cdot 490}{188} = 1514,8 \text{ кВт}.$$

Визначимо повну потужність S за формулою (2.5)

$$S = UI = 3516,4 \cdot 491,4 = 1728,1 \text{ кВА}.$$

Реактивну потужність Фризе Q_Φ визначаємо за формулою (2.6). В результаті отримали

$$Q_\Phi = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1728,1^2 - 1514,8^2} = 831,8 \text{ квар}.$$

Для побудови залежностей зміни активної P , реактивної Q_Φ а повної S потужностей у часі, визначимо ці потужності за формулами (2.2, 2.5, 2.6), як «погодинні», коли одну точку на графіку розраховували як середньоарифметичне за 1 годину.

Залежності зміни потужностей в часі, тобто $S(t)$, $P(t)$ і $Q_\Phi(t)$ (рис. 3.1) являються важливими енергетичними характеристиками, які можна назвати графіками активного і реактивного навантаження електровоза. «Погодинні» графіки потужностей є різкозмінними (рис.3.1). Залежність повної потужності $S(t)$ електровоза знаходиться вище залежностей $P(t)$ і $Q_\Phi(t)$. Залежність $P(t)$

практично повторює форму кривої $S(t)$. Залежність $Q_{\phi}(t)$ менш різкозмінна, ніж $P(t)$, при цьому $Q_{\phi}(t) < P(t)$.

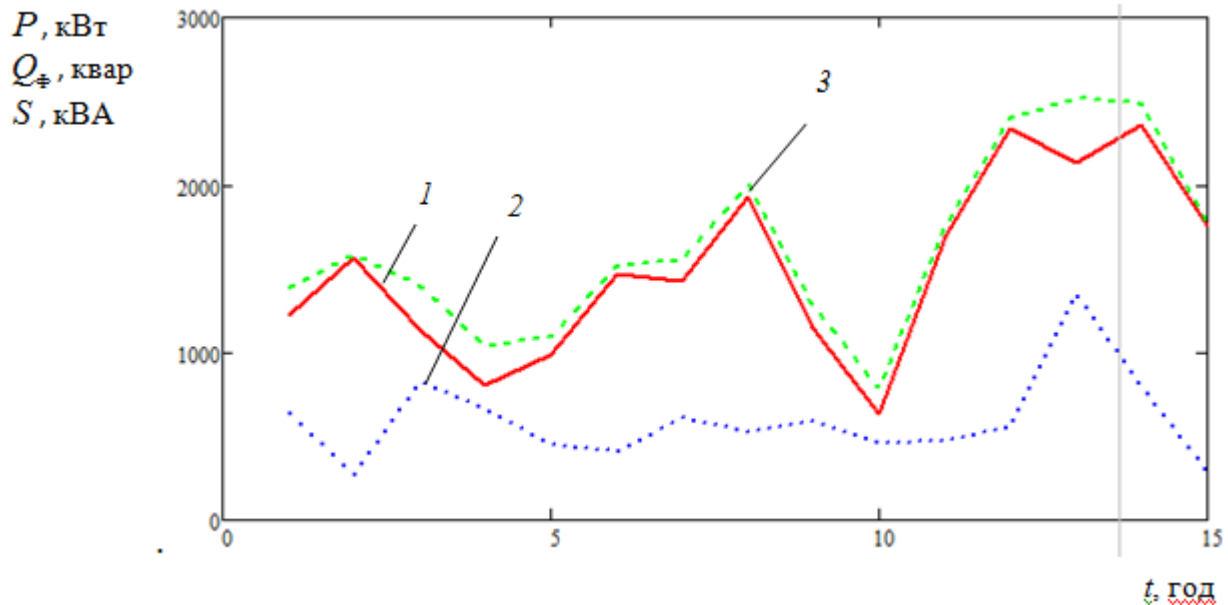


Рис. 2.3 . Часові залежності («погодинні» за 15 годин) потужностей, що споживаються електровозом ВЛ11М (1 точка – середнє за 1 годину):

1 – активної $P(t)$; 2 – реактивної $Q_{\phi}(t)$; 3 – повної $S(t)$.

Для усіх трьох потужностей S , P , Q_{ϕ} розкиди ($min...max$) значень достатньо великі: $P_{min}=633,7$ кВт, $P_{max}=2340$ кВт; $Q_{min}=263,5$ квар, $Q_{max}=1345,7$ квар; $S_{min}=781,5$ кВА, $S_{max}=2519,7$ кВА.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИЛОВИХ ТЯГОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11М

3.1. Класифікація технологічних втрат енергії

Традиційна класична система критеріїв ефективності електроенергетичних процесів включає в себе наступні показники якості енергопроцесів [11-13]: коефіцієнт зсуву фаз основної гармоніки струму відносно основної гармоніки напруги; коефіцієнт спотворення форми струму по відношенню до форми напруги; коефіцієнт несиметрії навантаження по фазах ; коефіцієнт нерівномірності споживання електроенергії. Цю систему критеріїв застосовують, в тому числі і в електричних колах систем тяги. Перечислені коефіцієнти, базуються на співвідношеннях відповідних потужностей (енергетичних характеристиках): активній, реактивній, спотворення, несиметрії, нерівномірності та повній, як енергетичних показників.

Показники якості енергопроцесів в багатьох роботах пропонується доповнювати іншими критеріями ефективності, які б у першу чергу оцінювали коректність поняття реактивної потужності в колах несинусоїдних напруг і струмів.

Найбільш важливим показником (критерієм ефективності енергопроцесів електроспоживання в електровозі, на нашу думку, можуть служити втрати активної електроенергії – втрати на передачу і розподілення електроенергії. Їх називають технологічними втратами і вони мають дві складові [14-15]: втрати при транспортуванні електроенергії та втрати при її реалізації .

Втрати при реалізації електроенергії дорівнюють сумі втрат, обмовлених недоврахуванням електроенергії в результаті помилок системи її обліку (урахування), і комерційних втрат. Недоврахування електроенергії зумовлене великими негативними похибками приладів її обліку у споживачів у порівнянні з аналогічними похибками приладів, фіксуючих її доступ в мережу. Похибки приладів обліку в паспортних даних характеризуються двосторонніми

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

похибками (плюс/мінус), однак в силу різних причин, виникає систематична негативна похибка системи обліку електроенергії на об'єкті, до якого входять сотні і тисячі вимірювальних комплексів. Ця похибка призводить до неврахування електроенергії, тому до неї застосовується термін «втрати». В сьогоденних умовах експлуатації приладів обліку, недоврахування електроенергії виявляється суттєвим.

Комерційні втрати зумовлені розкраданням електроенергії, невідповідністю показників лічильників і оплатою за електроенергію побутовими споживачами та іншими в сфері організації і контролю за споживанням електроенергії. Але необхідно зауважити, що нерідко автори таких робіт як [18-20] вважають, що комерційні втрати не повинні відноситись до технологічних втрат.

Окрім розглянутої вище класифікації технологічні втрати слід розподіляти на продуктивні (основні) та непродуктивні (додаткові).

Продуктивні втрати обумовлені передачею лише активної енергії в ЕРС і вони мають місце, коли система «ЛЕП-ТП-ТМ-ЕРС» працює в синусоїдному, симетричному та стабільному, за характером споживання (коли миттєва потужність є незмінною величиною), режимі. В цьому режимі, який деякі автори називають «оптимальним», відсутні всі 4 фактори неякісності електроенергії, а саме: відсутній кут зсуву фаз між однаковими гармоніками напруги і струму; форма струму не спотворена по відношенню до напруги (тобто їх спектральний склад однаковий); всі фази (якщо система трифазна) навантажені однаково; електроенергія в часі споживається рівномірно, не різкозмінно. Відсутність факторів неякісності обумовлює рівність нулю відповідних розглянутих вище потужностей: реактивної (або зсуву, спотворення, несиметрії та нерівномірності. Основні втрати є необхідними по суті передачі енергії і тому неминучі. Таким чином, вони повинні бути зменшені лише до оптимального рівня, під яким розуміють такі значення, при котрих не існує економічно виправданих способів їх подальшого зниження при прийнятному критерії та кінцевій множині можливих способів їх зменшення.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

Непродуктивні втрати пов'язані з неякісністю електроенергії, тобто вони мають місце, якщо в системі дії хоча б один із 4-х вищезазначених факторів. А останні в електровозі обов'язково є, бо вона працює практично завжди в несинусоїдному, часто несиметричному і різкозмінному тяговому режимі навантаження. Ці втрати електроенергії не є необхідними при її передачі до ЕРС і тому вони повинні бути зменшені до мінімуму. Однак в наш час електрифіковані залізниці України аналізують та сплачують тільки за використані активну та реактивну електроенергії [16] і зовсім без уваги, як звітну величину, залишають навіть сумарні втрати активної потужності. Тому і в наукових дослідженнях ефективність електроспоживання оцінюють лише за критерієм мінімуму споживання вартості електроенергії, що, на нашу думку, є неповним і недостатнім. З економічної точки зору найбільш важливим показником ефективності процесів тягового електропостачання і електроспоживання можуть слугувати навіть не стільки сумарні, скільки непродуктивні втрати активної енергії, які виникають в пристроях систем електротяги при передачі повної потужності від РП до ЕРС. При цьому оцінка чи точний розрахунок непродуктивних втрат, з позиції подальшого аналізу та прийняття необхідних засобів, повинна виконуватись у кожній складовій СЕТ «ЛЕП-ТП-ТМ-ЕРС».

Якраз саме непродуктивні втрати в силових колах ЕРС повинні бути важливим критерієм ефективності енергопроцесів у системі, бо вони:

- відображають економічний бік енергоспоживання електроенергії;
- базуються на усіх 4 факторах неякісності електроенергії у системі;
- характеризують ефективність і раціональність організації в тягових колах ЕРС під час електроспоживання.

На сьогодні не існує приладів і методів експериментального визначення взагалі технологічних, й тим більше непродуктивних, втрат електроенергії, їх можливо отримати виключно розрахунковим шляхом. А існуюча з 2003 року і затверджена наказом №342 Укрзалізниці «Методика розрахунку технологічних втрат в пристроях електропостачання» базується на показаннях лічильників

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

електроенергії, на ЕРС і ТП. В той же час відомо, що використовувані в Україні індукційні чи електронні лічильники і методики розрахунків обсягів відпущеної та спожитої електроенергії недостовірно оцінюють несинусоїдні енергетичні процеси, що протікають в системах з нелінійними нестационарними навантаженнями.

3.2. Метод визначення продуктивних і непродуктивних втрат енергії в силових колах електровозів ВЛ11М

Основною задачею цієї роботи є визначення продуктивних втрат ΔW_o і непродуктивних втрат ΔW_d електроенергії в тягових колах електровоза ВЛ11М. Причому важливим є їх знаходження не стільки за абсолютною величиною, скільки відносно споживаної активної електроенергії W .

З проблемою знаходження непродуктивних втрат електроенергії тісно пов'язані питання оцінки складових повної потужності, визначених в підрозділі 2.4, і зокрема оцінка реактивної потужності. Загальновідома [17] неоднозначність поняття та визначення реактивної потужності для кіл несинусоїдного струму, якими і є тягові мережі. Однак всі дослідники мають єдину думку [17], що з точки зору проблеми визначення втрат потужності як в усталених, так і в перехідних режимах роботи системи найбільш правильною та ефективною є концепція С. Фризе [18]. Згідно з цією концепцією і теоретичною електротехнікою ЕРС, як пасивний двополюсник (рис.3.1), зі струмом $i(t)$ довільної форми можна представити паралельним з'єднанням резистивного елемента R , що відображає споживану активну електроенергію, та реактивного елемента X , що характеризує споживання неактивних складових потужності: реактивної потужності та потужності спотворення.

Вважається, що у вітці з елементом R протікає активна складова струму $i_a(t)$, яка збігається за фазою з прикладеною до споживача напругою $u_e(t)$. По

елементу X протікає реактивна складова струму $i_p(t)$, що ортогональна до напруги $u_e(t)$. Згідно з першим законом Кірхгофа, для вузла «а» можна записати:

$$i(t) = i_a(t) + i_p(t). \quad (3.1)$$

Далі методи визначення втрат ΔW_d і ΔW_o дещо різні в залежності від характеру зміни напруги $u(t)$ джерела (ТП) і струму $i(t)$ в навантаженні (ЕРС) і в мережі. У випадку детермінованих періодичних несинусоїдних функцій $u(t)$ та $i(t)$, що характерно для кіл з ключовими елементами і промислової електроенергетики, вирази ΔW_d і ΔW_o отримані і приведені в роботі [17].

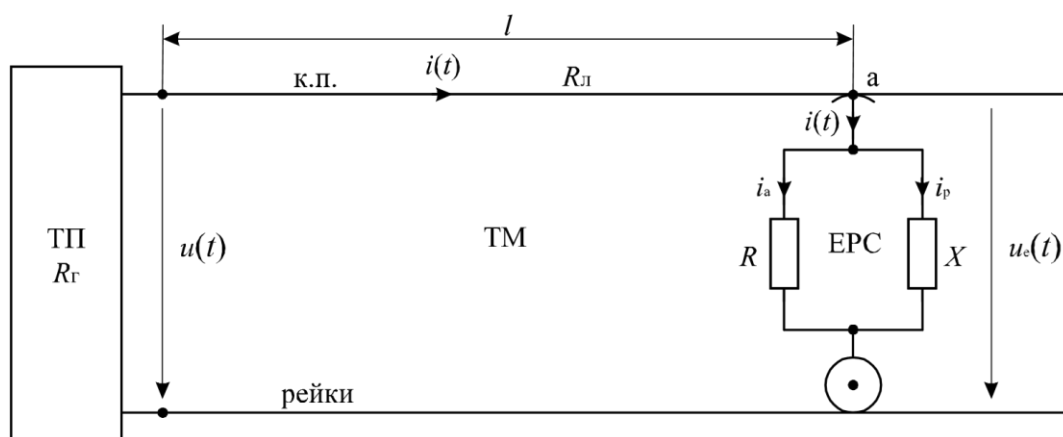


Рис. 3.1. Утворення активної та реактивної складових струму в силовому колі ЕРС.

Однак, як відомо, ЕРС є суттєво нелінійним параметричним динамічним споживачем саме тому, і напруга, і струм у тяговій мережі є недетермінованими випадковими функціями, що і обумовлює необхідність розробки методів і методики визначення як непродуктивних, так і продуктивних втрат електроенергії. При цьому розглянемо випадки, коли $u(t)$ та $i(t)$ є стаціонарними ергодичними і нестаціонарними випадковими процесами.

Діючі значення вказаних складових струмів в квадратурі утворюють діючі значення повного струму I :

$$I^2 = I_a^2 + I_p^2. \quad (3.2)$$

Помноживши обидві частини виразу (3.2) на U^2 , отримаємо:

$$U^2 \cdot I^2 = U^2 \cdot I_a^2 + U^2 \cdot I_p^2,$$

$$S^2 = P^2 + Q_F^2. \quad (3.3)$$

У виразі (3.3) S – повна потужність, а потужність Q_F часто називають реактивною потужністю по Фризе; її середнє значення за період дорівнює нулю і фізично вона представляє собою енергію в одиницю часу, що коливається між джерелом (ТП) і споживачем (ЕРС), або ж є тою частиною повної потужності, яка не передана в навантаження в результаті процесу споживання.

Тоді, згідно з виразом (3.2), технологічні витрати електроенергії ΔW в силовому колі електровоза за термін часу режиму введення електровозу τ_p визначаються як:

$$\Delta W = RI^2 \tau_p = RI_a^2 \tau_p + RI_p^2 \tau_p, \quad (3.4)$$

де R – активний опір силового кола електровоза.

Складова $RI_a^2 \tau_p$ в (3.4) зумовлена протіканням активної складової струму електровоза, тому її називають основними втратами енергії в режимі тяги:

$$\Delta W_o = RI_a^2 \tau_p. \quad (3.5)$$

Помноживши і поділивши вираз (3.5) на U^2 , отримаємо складову ΔW_o через активну потужність електровоза P :

$$\Delta W_o = RI_a^2 \frac{U^2}{U^2} \tau_p = R \frac{P^2}{U^2} \tau_p. \quad (3.6)$$

Друга складова $RI_p^2 \tau_p$ у виразі (3.4) являє собою також активні втрати енергії електровоза. Вона обумовлена протіканням реактивної складової I_p струму електровоза і її називають додатковими витратами:

$$\Delta W_d = RI_p^2 \tau_p. \quad (3.7)$$

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
						41
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Помноживши і поділивши зазначений вираз на U^2 , отримаємо $\Delta W_{\text{д}}$ через реактивну потужність по Фризе Q_F у вигляді:

$$\Delta W_{\text{д}} = R I_p^2 \frac{U^2}{U^2} \tau_p = R \frac{Q_F^2}{U^2} \tau_p. \quad (3.8)$$

Як впливає із виразів (3.6) і (3.8), для визначення основних і додаткових втрат енергії електровоза необхідно знання активної P і реактивної Q_F складових повної потужності S . Ці потужності (P , Q_F , S) за інтервал часу режиму ведення поїзду τ_p визначаються кореляційним методом, викладеним в [19].

Повні технологічні втрати енергії ΔW згідно (3.2), (3.4), (3.5) і (3.7) дорівнюють:

$$\Delta W = \Delta W_o + \Delta W_{\text{д}} = R I^2 \tau_p. \quad (3.9)$$

3.3 Чисельна оцінка продуктивних і непродуктивних втрат електроенергії в силових колах електровозів ВЛ11М

За розглянутими в п. 1.3-1.4 методиками і виразами визначили повну, активну і реактивну потужності, що споживаються електровозом на основі виконаного імовірісно-статистичного аналізу напруги на струмоприймачі електровозу ВЛ11М та його тягового струму при веденні пасажирського поїзда. В результаті з'явилася можливість визначити загальну активну енергію, яку споживає ЕРС, і оцінити продуктивні (основні) і непродуктивні (додаткові) втрати електроенергії в силових тягових колах електровоза.

Силові тягові кола ЕРС, споживають, як впливає із рис. 1, реактивну потужність, яка пульсує по силовим тяговим колам електровоза, й тим самим обумовлює непродуктивні (додаткові) втрати $\Delta W_{\text{д}}$ електроенергії. Для оцінки цих втрат по виразу (3.8), а також продуктивних (основних) ΔW_o за виразом (3.6) необхідне знання еквівалентного активного опору R_e електровозу. Останній оснащений електричним приводом з вісьма тяговими електродвигунами типу

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

ТЛ-2К1. Визначимо активний опір одного двигуна R_{Σ} згідно його технічним даним (див. п.1.2.2) за формулою:

$$R_{\Sigma} = R_{г.п} + R_{д.п.} + R_{я},$$

де $R_{г.п} = 0,0254 \text{ Ом}$ – опір обмоток головних полюсів;

$R_{д.п.} = 0,033 \text{ Ом}$ – опір обмоток додаткових полюсів і компенсаційних котушок;

$R_{я} = 0,036 \text{ Ом}$ – опір обмоток якоря.

Тоді

$$R_{\Sigma} = R_{г.п} + R_{д.п.} + R_{я} = 0,0254 + 0,033 + 0,036 \approx 0,1 \text{ Ом}.$$

Під час поїздки прийнято серієсне та серієсно-паралельне з'єднання двигунів.

У виразі (3.8) для непродуктивних втрат електроенергії $\Delta W_{д}$ величина еквівалентного опору R_e є детермінованою величиною, а величина діючого значення напруги U змінюється дуже слабко, тобто діюче значення U можна вважати незмінним. Тоді додаткові втрати електроенергії $\Delta W_{д}$ є функцією лише однієї випадкової величини, якою є потужність Фризе Q_{Φ} . Запишемо імовірнісні характеристики (математичне сподівання $M[\Delta W_{д}]$ та дисперсію $D[\Delta W_{д}]$) непродуктивних втрат електроенергії $\Delta W_{д}$, користуючись формулою (3.8), а саме:

$$M[\Delta W_{д}] = M\left[R_{\Sigma} \frac{Q_{\Phi}^2}{U^2}\right] = \frac{R_{\Sigma}}{U^2} M[Q_{\Phi}^2] = \frac{R_{\Sigma}}{U^2} (M[Q_{\Phi}])^2 + D[Q_{\Phi}] =$$

$$= \frac{R_{\Sigma}}{U^2} (M[Q_{\Phi}])^2 + D[Q_{\Phi}] = \frac{R_{\Sigma}}{U^2} m_{Q_{\Phi}}^2 + \sigma_{Q_{\Phi}}^2,$$

$$D[\Delta W_{д}] = \frac{R_{\Sigma}}{U^2} D[Q_{\Phi}^2] = 2 \frac{R_{\Sigma}}{U^2} (M[Q_{\Phi}])^2 \cdot D[Q_{\Phi}] + D^2[Q_{\Phi}] =$$

$$= 2 \frac{R_{\Sigma}}{U^2} m_{Q_{\Phi}}^2 \sigma_{Q_{\Phi}}^2 + \sigma_{Q_{\Phi}}^4.$$

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

Абсолютні значення $\Delta W_{\text{д}}$ знаходяться в інтервалі

$$m_{\Delta W_{\text{д}}} - 3\sqrt{2\frac{R_{\Sigma}}{U^2}m_{Q_{\Phi}}^2\sigma_{Q_{\Phi}}^2 + \sigma_{Q_{\Phi}}^4} \dots m_{\Delta W_{\text{д}}} + 3\sqrt{2\frac{R_{\Sigma}}{U^2}m_{Q_{\Phi}}^2\sigma_{Q_{\Phi}}^2 + \sigma_{Q_{\Phi}}^4},$$

якщо величина $\Delta W_{\text{д}}$ розподіляється за Гауссом.

Отже, абсолютні значення непродуктивних втрат електроенергії, як впливає із цього виразу, значно, у другій і четвертій степенях, залежать від середньоквадратичного відхилення, тобто коливань, реактивної потужності Q_{Φ} . Це підтверджується при порівнянні динаміки зміни «погодинних» значень Q_{Φ} (рис. 3.1) з характером зміни таких же значень непродуктивних втрат електроенергії (рис. 3.2), згідно з якими, часові залежності $\Delta W_{\text{о}}(t)$ та $\Delta W_{\text{д}}(t)$ являються випадковими процесами; максимумами $\Delta W_{\text{д}}$ та $\Delta W_{\text{о}}$ відповідають максимумам відповідно Q_{Φ} і P .

Характер зміни та діапазон розкиду таких втрат показано на рис. 3.2, і на гістограмах рис. 3.3, із яких випливає, що величина непродуктивних втрат електроенергії $\Delta W_{\text{д}}$ за 15 годин коливається в інтервалі 66 ... 5978 кВт·год, а продуктивних $\Delta W_{\text{о}}$ від 390 кВт·год до 5442 кВт·год.

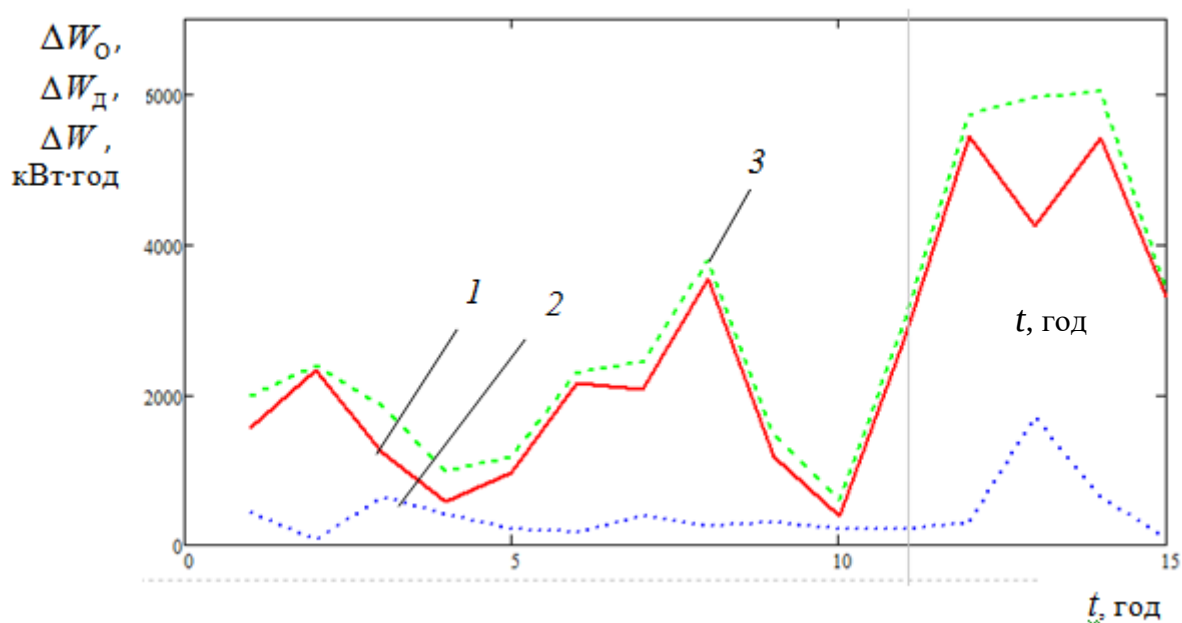


Рис. 3.2. Часові залежності «погодинних» значень втрат електроенергії в електровозі: 1 – продуктивних $\Delta W_{\text{о}}$, 2 – непродуктивних $\Delta W_{\text{д}}$,

$$3 - \text{сумарних } W = \Delta W_o + \Delta W_d$$

Розподілення добових величин продуктивних і непродуктивних втрат електроенергії ΔW_d не підкоряється закону Гаусса, при цьому відповідно

$$As_{\Delta W_o} = 0,59, \text{ а } Ex_{\Delta W_o} = -0,75; As_{\Delta W_d} = 2,5, \text{ а } Ex_{\Delta W_d} = 5,9.$$

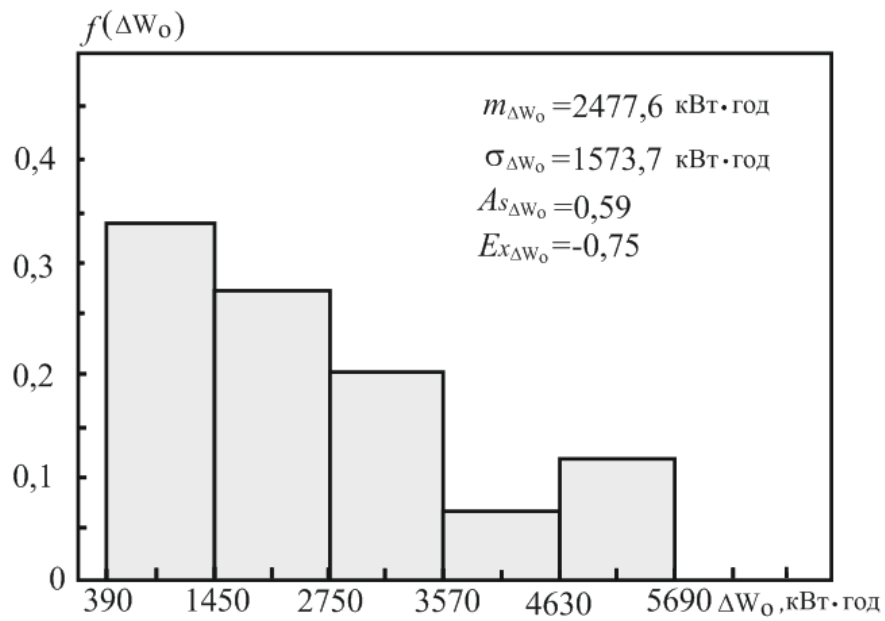
Знайдемо відносні величини продуктивних ΔW_o і непродуктивних ΔW_d втрат електроенергії, а саме: відносно споживаної енергії W , а також відношення $\Delta W_d / \Delta W_o$.

Зазначені відсоткові відношення представлені на табл. 3.1, із яких випливає, що непродуктивні «погодинні» втрати електроенергії ΔW_d складають: 3,0 % від споживаної електроенергії W і 30,1% – від продуктивних втрат ΔW_o , одночасно співвідношення загальних втрат електроенергії в силових колах електровоза відносно споживаної електроенергії складає 12,8%.

Таблиця. 3.1 – Співвідношення втрат потужностей

№ п/п	Види втрат електроенергії	«Погодинні» значення втрат
1	Споживана (активна) електроенергія, W , кВт·год.	22722
2	Продуктивні (основні) втрати, W_o , кВт·год.	2227
3	Непродуктивні (додаткові) втрати, W_d , кВт·год	671
4	Співвідношення, W_o / W , %	9,8
5	Співвідношення, W_d / W , %	3,0
6	Співвідношення, W_d / W_o , %	30,1
7	Співвідношення, $(\Delta W_o + \Delta W_d) / W$, %	12,8

а)



б)

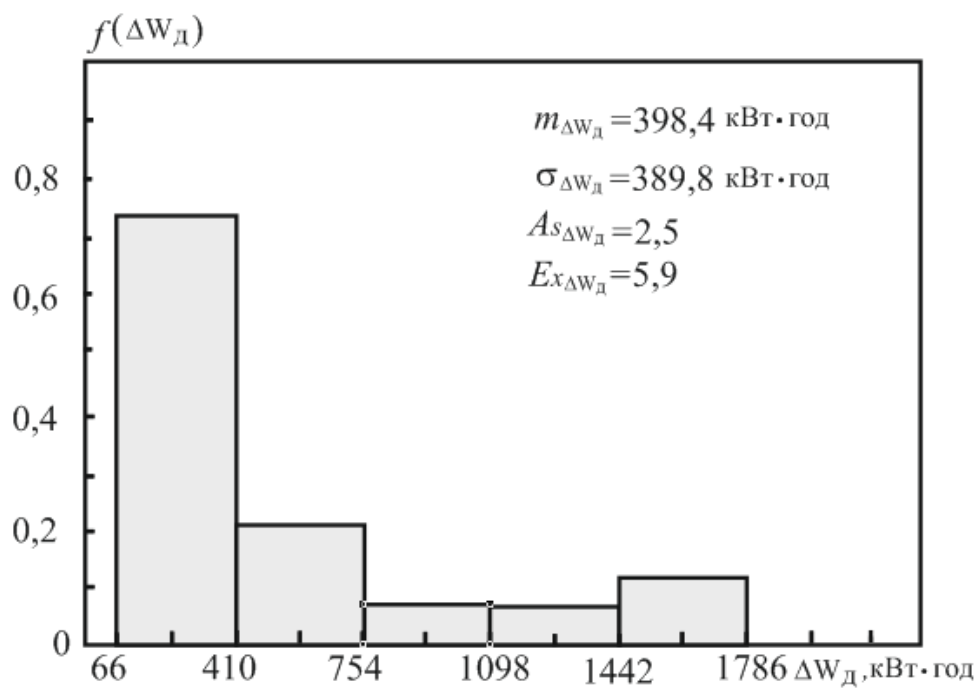


Рис. 3.3. Статистичні розподілення «погодинних» значень продуктивних (а) і непродуктивних (б) втрат електроенергії в електровозі.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вимоги безпеки праці під час виконання робіт на робочому місці

При виконанні розрахункової частини магістерської роботи та графічної частини дослідник багато часу проводить за персональним комп'ютером. Оскільки це електронна техніка вона може негативно впливати на здоров'я людини. Визначення основних положень що стосуються реалізації конституційного права громадянина на охорону її життя і здоров'я у процесі трудової діяльності міститься у законі України «Про охорону праці» [20]. Відповідно до НПАОП 40.1-1.21-98 [21] та НПАОП 0.00-7.15-18 [22], приведемо ряд основних небезпечних та шкідливих факторів:

- Підвищений рівень напруги в електричному колі живлення і керування ПК, який може привести до електротравми оператора при відсутності заземлення або занулення;
- Підвищений рівень напруженості електричного і магнітного полів в широкому діапазоні частот;
- Не відповідають санітарним нормам візуальні параметри дисплеїв;
- Надлишкові енергетичні потоки синьо-фіолетового світла від екрану дисплея у видимому діапазоні довжин електромагнітних хвиль, що знижують чіткість сприйняття зображення оком;
- Знижений або підвищений рівень освітленості;
- Підвищений рівень напруженості статичної електрики;
- Підвищений рівень загазованості, особливо в погано вентильованих приміщеннях;
- Підвищений рівень запиленості повітря робочої зони від зовнішніх джерел;

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

- Не відповідають нормам параметри мікроклімату: підвищена температура через постійне нагрівання деталей ПК, знижена вологість, знижена або підвищена швидкість руху (рухливість) повітря робочої зони;
- Порушення норм аероіонного складу повітря, особливо в приміщеннях з розвиненою системою припливно-витяжної вентиляції і (або) з кондиціонерами;
- Підвищений вміст в повітрі патогенної (що викликає захворювання) мікрофлори, особливо взимку при підвищеній температурі в приміщенні, поганому провітрюванні, зниженій вологості і порушенні аероіонного складу повітря;
- Підвищений рівень шуму від працюючих вентиляторів охолодження ПК і принтера, від неврегульованої джерел люмінесцентного освітлення та ін.;
- Підвищені зорові навантаження і адинамія очних м'язів, тобто їх мала рухливість при високому статичному зоровому напруженні протягом тривалого часу, що може стати причиною різних очних захворювань;
- Монотонність праці;
- Підвищене розумове навантаження через великий обсяг переробляється і засвоюється інформації;
- Фізичне перенапруження через нераціональну організацію робочого місця (незручні крісла, столи, відсутність підставок для тексту, для ніг і кистей рук та ін.), що в значній мірі посилює напругу м'язів хребта, ніг, рук, шиї, очей;
- Підвищене нервово-емоційне напруження;
- Зовнішні постійно діючі екологічні фактори: наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин (окису вуглецю, озону, аміаку, оксидів азоту, сірки та ін.);
- Різке погіршення якості повітря аероіонного складу, збільшення в ньому вмісту різних алергенів, грибків, вірусів, бактерій, мікроорганізмів;
- Зростання інформаційних навантажень ззовні (причому не тільки під час роботи на ПК) викликає додаткові психічні перевантаження, стреси, що також підвищує ймовірність захворювань органів зору та інших найбільш навантажених і ослаблених органів.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

Крім захворювань очей, можливі захворювання серця, нирок, нервової системи, шлунково-кишкового тракту, імунної та бронхолегеневої систем.

Для користувача ПК існує ряд обов'язків, яких він повинен дотримуватись, щоб уникнути проблем із здоров'ям.

Приведемо нижче обов'язки робітника ПЕОМ.

Оператор не має права приступати до роботи:

- При відсутності гігієнічного сертифіката (висновку) на ПК;
 - При відсутності інформації про результати атестації умов праці на даному робочому місці;
 - При наявності інформації про невідповідність параметрів технологічного обладнання вимогам санітарних норм.
 - При відсутності захисного заземлення (занулення) пристроїв ПК;
 - При невідповідності параметрів мікроклімату (особливо по температурі і вологості) на робочому місці вимогам санітарних норм;
 - При підвищеній запиленості повітря;
 - При підвищеній загазованості повітря агресивними і шкідливими речовинами;
 - При відсутності захисного приєкранного фільтра, що має гігієнічний сертифікат (висновок), якщо він повинен бути встановлений за результатами атестації робочого місця;
 - При відключеному заземлюючому провіднику захисного приєкранного фільтра;
 - При виявленні несправності обладнання;
 - При відсутності первинних засобів пожежогасіння;
 - При відсутності аптечки першої допомоги;
 - При порушенні гігієнічних норм розміщення обладнання.
- До початку роботи оператор зобов'язаний:
- Вимити руки з милом і надіти спецодяг;

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

- Відрегулювати освітленість на робочому місці, переконатися у відсутності відображень (відблисків) на екрані і клавіатурі, а також зустрічного світлового потоку;
- Оглянути робоче місце і перевірити правильність підключення обладнання до електромережі;
- Переконатися в наявності захисного заземлення і підключення екранного провідника до корпусу системного блоку (процесора);
- Протерти спеціальною серветкою поверхню екрану і захисного фільтра;
- Переконатися в наявності спеціального килимка для пристрою "миша";
- Переконатися у відсутності дискет у дисководах ПК;
- Перевірити правильність установки столу, крісла, підставок для ніг і паперів (пюпітра), положення обладнання, утла нахилу екрану; при необхідності відрегулювати положення крісла, а також розташувати обладнання так, щоб виключити незручні пози і тривала напруга тіла.

Забороняється:

- Виконувати на робочому місці, ремонт та налагодження ЕОМ;
- Відключати захисні пристрої, самочинно проводити зміни у конструкції та складі ЕОМ або їх технічне налагодження;
- Працювати з ВДТ, у яких під час роботи з'являються нестабільне зображення на екрані, нехарактерні сигнали тощо;
- Зберігання біля ЕОМ дискет, паперу, інших носіїв інформації, запасних блоків, деталей тощо;
- Допускання попадання вологи на поверхню системного блоку;
- Доторкання до задньої панелі системного блоку при включеному живленні;
- Вимикання живлення під час виконання активного завдання;
- Приймання напоїв та їжі на робочому місці.

Про виявлення несправності обладнання або інших факторів, які створюють загрозу для життя або здоров'я працівників, необхідно негайно інформувати свого безпосереднього керівника.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

Одним з найважливіших факторів, що впливають на здоров'я людини є організація робочого місця. Так у нормативно правовому акті з охорони праці НПАОП 22.1-1.01-96 «Правила охорони праці для видавництв і редакцій., що затверджено наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці № 122 від 18 липня 1996 року [23] йдеться мова про об'єм виробничих приміщень для програмістів. Відповідно [23] об'єм виробничих приміщень на одного працівника повинна складати 20 м³ , а площа приміщень - не менше 6 м² з урахуванням максимального числа працівників в одну зміну.

Відповідно до санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99., що затверджено Постановою Головного державного санітарного лікаря України №42 від 1 грудня 1999 року [24] робота програміста за енерговитратами відноситься до категорії легких робіт, зокрема до категорій Іа та Іб.

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються наступними такими показниками, як: температура повітря, швидкість руху повітря, відносна вологість повітря, інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення, температура поверхні.

У табл. 4.1 наведено оптимальні мікрокліматичні умови виробничого приміщення, для категорій Іа та Іб легких робіт у холодну пору року, оскільки робота виконувалася саме в цю пору року, відповідно до [23].

Таблиця 4.1. – Оптимальні мікрокліматичні умови виробничого приміщення, для категорій Іа та Іб легких робіт

Період року	Категорія робіт	Температура повітря	Відносна вологість	Швидкість руху, м/сек.
Холодний період року	Легка Іа	22 – 24	60 – 40	0,1
	Легка Іб	21 – 23	60 – 40	0,1

У табл. 4.2 наведено допустимі мікрокліматичні умови виробничого приміщення, для категорій Іа та Іб легких робіт, відповідно до [22].

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

Таблиця 4.2. – Допустимі мікрокліматичні умови виробничого приміщення, для категорій Іа та Іб легких робіт.

Період року	Категорія робіт	Температура, град.С				Віднос на вологість (%)	Швидкість руху, м/сек.
		Верхня мережа		Нижня мережа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період року	Легка Іа	25	26	21	18	75	не більше 0,1
	Легка Іб	24	25	21	18	75	Не більше 0,2

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ВДТ ЕОМ і ПЕОМ [25], мають відповідати вимогам що наведені у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот для програміста

Вид трудової діяльності	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Рівні шуму, еквівалентні рівні шуму, дБА/дБАекв.
Програмісти ЕОМ	86	74	61	54	49	45	42	40	38	50

Устаткування, що становить джерело шуму відповідно до [24], слід розташовувати поза приміщенням для роботи ЕОМ, а також для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання.

4.2 Дії працівників в надзвичайних ситуаціях

Дотримання правил і вимог електробезпеки дозволяє максимально забезпечити захист користувача від ураження електричним струмом [25].

Однак, якщо стався нещасний випадок, потрібно в такій послідовності надати першу медичну допомогу постраждалому:

1. Відключити джерело струму. При підході до постраждалого по землі йти дрібними, не більше 10 см, кроками;
2. Скинути з потерпілого провід сухим струмонепровідним предметом (палиця, пластик). Відтягнути потерпілого за одяг не менше ніж на 10 метрів від місця торкання проводом землі або від обладнання, що знаходиться під напругою;
3. Викликати (самостійно або за допомогою оточуючих) «швидку допомогу»;
4. Визначити наявність пульсу на сонній артерії, реакції зіниць на світло, самостійного дихання;
5. При відсутності ознак життя провести серцево-легеневу реанімацію;
6. При відновленні самостійного дихання і серцебиття покласти потерпілого на бік і надати йому стійке становище;
7. Якщо потерпілий прийшов до тями, укрити і зігріти його. Стежити за його станом до прибуття медичного персоналу.

Надання першої домедичної допомоги постраждалим при пожежі:

- 1) Якщо горить одяг, його слід скинути або погасити полум'я, щільно накривши людини ковдрою або будь-яким шматком тканини. Обпалені ділянки одягу акуратно розрізати і скидати по частинах, у запобігання подальшої травматизації шкіри.
- 2) Якщо закрыта рана необхідно охолоджувати водою уражену ділянку протягом 10 хвилин.
- 3) На поверхню рани слід накласти стерильну пов'язку.
- 4) Забезпечити потерпілому спокій.
- 5) Дати випити велику кількість рідини (чай, вода і тому подібне).

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

6) Негайно викликати бригаду невідкладної допомоги.

7) При можливості знеболити потерпілого, дати прийняти таблетку анальгіну.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
						54
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Напряга на струмоприймачі електровоза ВЛ11М постійного струму є випадковими процесами з розподілом близьким до закону Гаусса з функцією математичного сподівання для напруги $M_U = 3510,5 \text{ В}$ і дисперсією $D_U = 41557,48 \text{ В}^2$. Випадкові коливання напруги знаходяться в межах 2520 В до 4010 В при номінальному 3000 В для контактної мережі.

2. Тяговий струм електровоза являє собою неперервний нестационарний випадковий процес з математичним сподіванням 433 А, середньоквадратичним відхиленням $\sigma_I = 232,4 \text{ А}$, зі статичним негауссовим у перетині реалізацій розподіленням, що має чітке скошення вліво з асиметрією до 0,52 та гостровершинністю з $Ex_I = 0,3$.

3. Часові залежності, повної $S(t)$, активної $P(t)$ і неактивної (реактивної по Фризе) $Q_\Phi(t)$, що споживаються силовими колами електровозу є різкозмінними функціями.

4. Часові залежності непродуктивних ΔW_d і продуктивних ΔW_o втрат потужностей в силових колах електровозу являються випадковими різкозмінними нестационарними процесами. Максимуми ΔW_d і ΔW_o відповідають максимумам потужностей відповідно Q_Φ і P .

5. Абсолютні значення непродуктивних втрат ΔP_d суттєво, у другій і четвертій степенях, залежать від середньоквадратичних відхилень реактивної потужності σ_{Q_Φ} : зі збільшенням σ_{Q_Φ} величинах ΔP_d також збільшується.

6. Розподілення випадкових значень «погодинних» (середніх за 1 годину) непродуктивних втрат електроенергії ΔW_d не підкоряється нормальному закону з параметрами: $M[\Delta W_d] = 398,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, $\sigma_{\Delta W_d} = 389,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, $As_{\Delta W_d} = 2,5$, $Ex_{\Delta W_d} = 5,9$.

7. Для силових кіл досліджуваного електровозу «погодинні» значення непродуктивних втрат електроенергії ΔW_d складають 3,0% (по відношенню до

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
						55
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

споживаної (активної) електроенергії W і 30,1% відносно продуктивних втрат W_o , в той час як загальні втрати $W = \Delta W_d + \Delta W_o$ відносно споживаної електроенергії W складають 12,8%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теоретичні основи електротехніки [Текст]: підручник для студентів вузів / М. О. Костін М.О., О.Г. Шейкіна. – ДНУЗТ, 2006. –Том 1. – 336 с.
2. Грищенко С. Г. Ефективність використання електровозів 2ЄС10 і ВЛ11Мв гірських умовах з урахуванням вартості їх життєвого циклу / С. Г. Грищенко, Ю. Є. Калабухін, А. П. Фалендиш [Текст]// Залізничний транспорт України. – 2013. – №5,6. – С. 53-59.
3. Назначение и технические характеристики электровоза. [Электрон. ресурс]/ Режим доступа: https://www.poezdvl.com/vl11m/vl11m_01.html
4. Тонкаль В. Е. Баланс энергий в электрических цепях[Текст] / В. Е. Тонкаль, В. А. Новосельцев, С. П. Денисюк. – К.: Наук. думка, 1992. – 312 с.
5. Гуртовцев А. Л. О суммарных предельных и реаль ных погрешностях электронных электросчетчиков[Текст] / А. Л. Гуртовцев // Электрика. – 2007. – №7. – С. 16-23.
6. Лебедев В. М. Статистический анализ режимов напряжения тяговых подстанций [Текст] / В. М. Лебедев, Ю. Б. Манусов, Э. С. Почаевец, Я. Е. Савич // Тр. МИИТа. – М., 1979. – Вып. 636. – С. 102-106.
7. Доманский В. Т. Экспериментальное определение потерь энергии в электротяговых сетях постоянного тока [Текст] / В. Т. Доманский, В. Ф. Блохин, Г. А. Доманская // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – №5. – С. 29-32.
8. Пухов Г. Е. Введение в теорию метода точек/ Г. Е. Пухов [Текст] // Труды Таганрогского радиотехнического института. – Таганрог, 1954. – Т. 2 – 152с.
9. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления [Текст] / Г. М. Фихтенгольц. – М.: Наука, 1966. – Т. 3. – 656 с.
10. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] / И. С. Гоноровский. – М.: Сов. радио, 1977. – 608 с.
11. Поляков Н. Г. Об одном методе оценки эффективности электропотребления при несимметричных линейных загрузка х[Текст] / Н. Г. Поляков, В. В. Кийко // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «ПСЕ – 2002». – 2002. – Ч. 7. – С. 86-89.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

12. Крoгерис А. Ф. Оценка энергетических процессов по мгновенной мощности [Текст] / А. Ф. Крoгерис, К. К. Раешевец, Э. П. Трейманис [и др.] // Электричество. – 1987. – №7. – С. 31-35.
13. Железко Ю. С. Расчет технологических потерь электроэнергии в электрических цепях [Текст] / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко // Энергетик. – 2003. – №2. – С. 29-33.
14. Железко Ю. С. Методика расчета нормативов технологических потерь электроэнергии [Текст] / Ю. С. Железко // Электричество. – 2006. – №12. – С. 10-17.
15. Железко Ю. С. Стратегия снижения потерь и повышения качества электроэнергии в электрических сетях [Текст] / Ю. С. Железко // Электричество. – 1992. – №5. – С. 6-12.
16. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2009 році. – К.: «Укрзалізниця», 2010.
17. Костін М. О. Неоднозначність визначення поняття «реактивна потужність» в колах несинусоїдних електричних величин [Текст] / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна // Гірнича електромеханіка та автоматика. – 2002. – Вип. 69. – С. 3-8.
18. Fryze S. Wirk-, Blind- und Scheinleistung in elektrischen Stromkreisen mit nichtsinusförmigen Verlauf von Strom und Spannung [Текст] / S. Fryze // Elektrotechn. Z. – 1932. – Т. 25. – S. 596-599; Т. 26. – S. 625-627; Т. 29. – S. 700-702.
19. Костин Н. А. Методы определения составляющих полной мощности в системах электрической тяги [Текст] / Н. А. Костин, А. В. Петров // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «ПСЕ – 2011». – 2011. – Ч. 3. – С. 53-59.
20. Закон «Про охорону праці» згідно з Постановою Верховної Ради України № 77-VIII від 28 листопада 2014 року
21. НПАОП 40.1–1.21–98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». Затверджено: наказ держнаглядохоронпраці України № 4 від 9 січня 1998 року.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

22. НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час робот з екранними пристроями». Затверджено: наказ Міністерства соціальної політики України «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» № 207 від 14 лютого 2018 року.

23. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Затверджено Постановою Головного державного санітарного лікаря України № 42 від 1 грудня 1999 року.

24. ДСН 3.3.6-037-99 Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». МОЗ України, Постанова №37 від 01.12.99.

25. Ненько С. К., Полівода Л. А. Надання першої медичної допомоги при надзвичайних ситуаціях [Текст] / С. К. Ненько, Л. А. Полівода. – Херсон: «Навчально-методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Херсонської області», 2014. – 28 с.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		59

СПИСОК ГРАФІЧНИХ РОБІТ

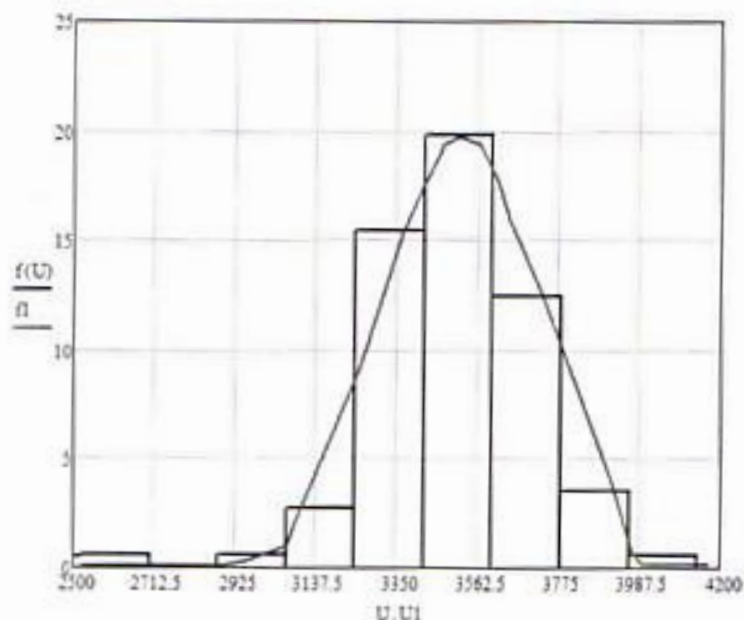
1. Імовірно-статистичний аналіз випадкової величини напруги на струмоприймачі та тягового струму електровозу ВЛ11М.
2. Оцінка складових повної потужності.
3. Методологія визначення основних та додаткових втрат електроенергії.
4. Чисельна оцінка основних та додаткових втрат електроенергії в силових колах електровозів ВЛ11М.

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
						60
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					0024.ДМР21.07.ПЗ	Лист
						61
Имн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ НАПРУГИ НА СТРУМОПРИЙМАЧІ ТА ТЯГОВОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРОВОЗУ ВЛ11М



$$M_U = 3510,48B$$

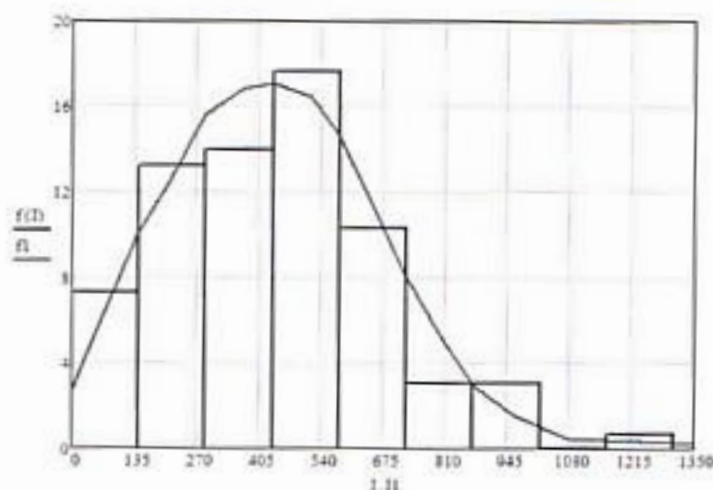
$$D_U = 41557,48B^2$$

$$\sigma_U = 203,86B$$

$$As_U = -0,83$$

$$Ex_U = 3,36$$

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



$$M_I = 433A$$

$$D_I = 54014,48A^2$$

$$\sigma_I = 232,41A$$

$$As_I = 0,52$$

$$Ex_I = 0,31$$

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

Розрахунки та аналіз технологічних витрат електричної енергії в електровозах ВЛ11М							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Лист.	Листов
Розроб.	Шірінгал М.			15.12.21		62	
Перев.	Шейкіна О.Г.			15.12.21			
Н. контр.	Карзова О.О.			15.12.21			
Затв.	Муха А.М.			15.12.21			
ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ НАПРУГИ НА СТРУМОПРИЙМАЧІ ТА ТЯГОВОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРОВОЗУ ВЛ11М					УДУНТ група ЕП2011		

ОЦІНКА СКЛАДОВИХ ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

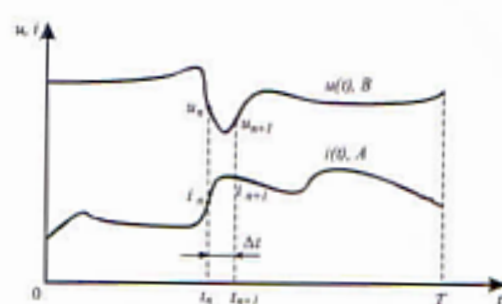


Рис. 3. Дискретизація реалізацій напруги та струму

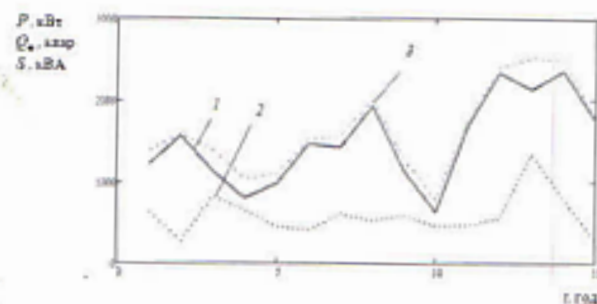


Рис. 4. Часові залежності потужностей P, Q, S, («погодинні»)

$$P = \frac{\sum_{n=1}^N u_n \cdot i_n}{N} \quad (1) \quad P = 1514,8 \text{ кВт}$$

$$S = UI \quad (2) \quad S = 1728,1 \text{ кВА}$$

$$Q_{\Phi} = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (3) \quad Q_{\Phi} = 831,8 \text{ квар}$$

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N u_n^2}{N}} \quad U = 3516,4 \text{ В}$$

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N i_n^2}{N}} \quad I = 491,4 \text{ А}$$

Розрахунки та аналіз технологічних витрат електричної енергії в електровозах ВЛ11М							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шірінгала М.					
Перев.		Шейкіна О.Г.					
ОЦІНКА СКЛАДОВИХ ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ					Літ.	Лист.	Листов
						63	
					УДУНТ група ЕП2011		
Н. контр.		Карцова О.О.					
Затв.		Муха А.М.					

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТА ДОДАТКОВИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

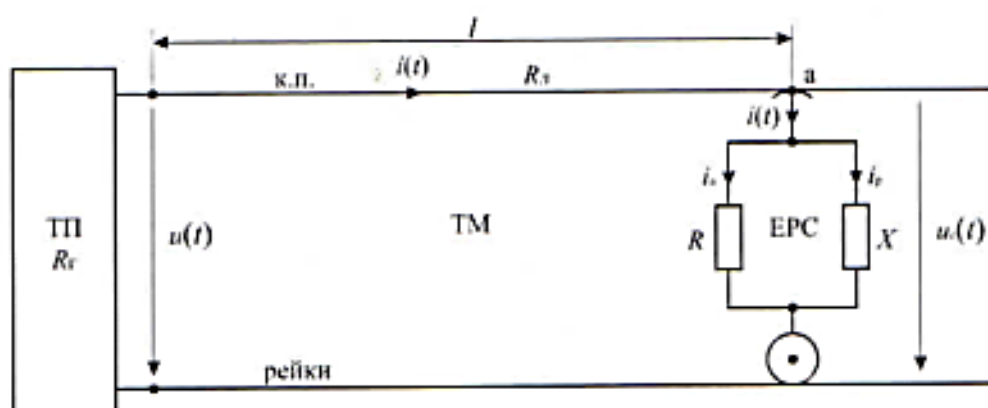


Рис. 5. Схема, яка пояснює утворення активної та реактивної складових струму в тяговій мережі

$$i(t) = i_a(t) + i_p(t) \quad (3.1)$$

$$I^2 = I_a^2 + I_p^2 \quad (3.2)$$

$$S^2 = P^2 + Q_F^2. \quad (3.3)$$

$$\Delta W = RI^2\tau_p = RI_a^2\tau_p + RI_p^2\tau_p \quad (3.4)$$

$$\Delta W_O = RI_a^2\tau_p \quad (3.5)$$

$$\Delta W_O = RI_a^2 \frac{U^2}{U^2} \tau_p = R \frac{P^2}{U^2} \tau_p. \quad (3.6)$$

$$\Delta W_D = RI_p^2\tau_p. \quad (3.7)$$

$$\Delta W_D = RI_p^2 \frac{U^2}{U^2} \tau_p = R \frac{Q_F^2}{U^2} \tau_p. \quad (3.8)$$

$$\Delta W = \Delta W_O + \Delta W_D = RI^2\tau_p. \quad (3.9)$$

					Розрахунки та аналіз технологічних витрат електричної енергії в електровозах ВЛІІМ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТА ДОДАТКОВИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	Літ.	Лист.	Листов
Розроб.		Шірінгала М.		17.02.17				
Перев.		Шейкіна О.Г.		17.02.17			64	
Н. контр.		Карзова О.О.		20.02.17		УДУНТ група ЕП2011		
Затв.		Муха А.М.		20.02.17				

ЧИСЕЛЬНА ОЦІНКА ОСНОВНИХ ТА ДОДАТКОВИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ11М

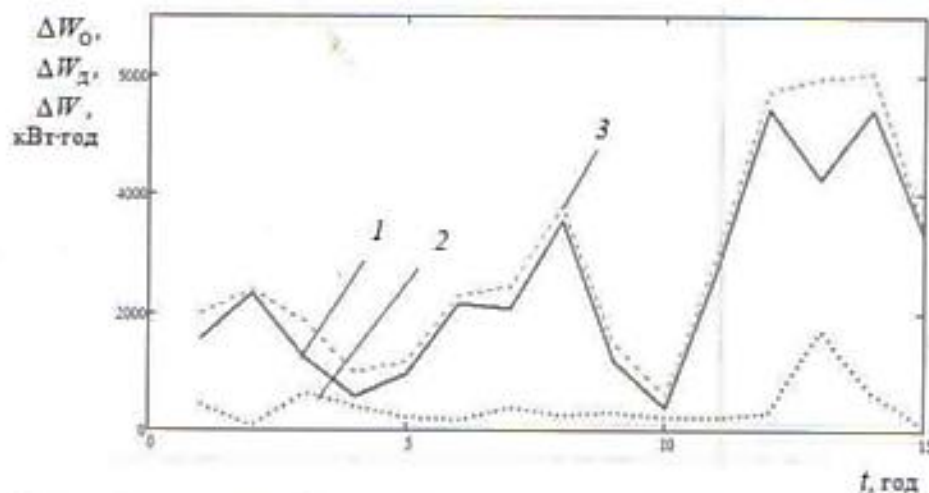


Рис. 6. Часові залежності «погодинних» значень втрат електроенергії в електровозі: 1 – продуктивних ΔW_0 , 2 – непродуктивних ΔW_d , 3 – сумарних $W = \Delta W_0 + \Delta W_d$

Таблиця 1 – Значення електричних втрат електроенергії та їх співвідношення

№ п/д	Види втрат електроенергії	«Погодинні» значення втрат
1	Споживана (активна) електроенергія, W , кВт·год	22722
2	Продуктивні (основні) втрати, W_0 , кВт·год	2227
3	Непродуктивні (додаткові) втрати, W_d , кВт·год	671
4	Співвідношення, W_0/W , %	9,8
5	Співвідношення, W_d/W , %	3,0
6	Співвідношення, W_d/W_0 , %	30,1
7	Співвідношення, $(\Delta W_0 + \Delta W_d)/W$, %	12,8

Розрахунки та аналіз технологічних витрат електричної енергії в електровозах ВЛ11М					Лит.		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Листов		
Розроб.	Шірінгал М.			19.12.11	65		
Перев.	Шейкіна О.Г.			27.12.11			
Н. контр.	Карзова О.О.			20.12.12	УДУНТ ім. група ЕП2011		
Затв.	Муха А.М.			2012			