

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Визначення характеристик розподілу параметрів підземних контактних
мереж в умовах гірничорудних підприємств**

Виконав: студент групи ЕЕМ-22-1

Владислав ЧЕРНОВ

Керівник випускної роботи _____ к.т.н., доц. Ірина КАСАТКІНА

Нормо контролер _____ к.т.н., доц. Ірина КАСАТКІНА

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2026 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЧЕРНОВ Владислав Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Визначення характеристик розподілу параметрів підземних
контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

1. Термін подання студентом роботи: 19 червня 2026 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є визначення
характеристик розподілу параметрів підземних контактних мереж в умовах
гірничорудних підприємств
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Характеристика параметрів підземних контактних мереж в умовах
гірничорудних підприємств; II. Визначення характеристик розподілу
параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних
підприємств; III. Висунення гіпотез про закони, що описують розподіли
параметрів характеристик підземних контактних мереж в умовах
гірничорудних підприємств.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Параметри контактних мереж; II. Електричні процеси в
контактних мережах; III. Визначення характеристик розподілу параметрів
підземних контактних мереж; IV. Визначення характеристик розподілу
параметрів підземних контактних мереж.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ірина КАСАТКІНА		
II	Ірина КАСАТКІНА		
III	Ірина КАСАТКІНА		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Характеристика силового обладнання підземних контактних мереж	24.05.26
2	Характеристика силових кабельних ліній	27.05.26
3	Визначення параметрів підземних контактних мереж	31.05.26
4	Визначення характеристик розподілу параметрів підземних контактних мереж	02.06.26
5	Визначення характеристик розподілу параметрів поздовжнього опору	07.06.26
6	Визначення характеристик розподілу параметрів індуктивності	15.06.26

Дата видання завдання 18.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Владислав ЧЕРНОВ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ірина КАСАТКІНА
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Визначення характеристик розподілу параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств»

32 с., 15 літературних джерел

Мета роботи: Підвищення рівня електробезпеки та експлуатаційної надійності систем підземного електропостачання залізорудних шахт шляхом дослідження розподілених параметрів силових кабельних ліній та розробки на цій основі адаптивних методів ідентифікації передаварійних та аварійних режимів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати вплив специфічних факторів залізорудних шахт (висока обводненість мінералізованими водами, наявність струмопровідного магнітного пилу, динамічні механічні навантаження) на зміну первинних електричних параметрів ізоляції та струмопровідних жил кабелів.

Розробити адекватну математичну модель розгалуженої шахтної кабельної мережі як лінії з розподіленими параметрами (питомим активним опором R , індуктивністю L , ємністю C та провідністю ізоляції G).

Дослідити хвильові та перехідні процеси, що виникають у кабелях під час найпоширеніших аварій — однофазних витоків струму на землю та дугових замикань.

Визначити залежності між просторовим розподілом параметрів кабельної лінії та спектральними (або високочастотними) характеристиками струмів і напруг нульової послідовності.

Розробити алгоритмічне забезпечення для мікропроцесорних терміналів релейного захисту, що дозволить селективно виявляти

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пошкоджену ділянку мережі на основі аналізу хвильових процесів, не допускаючи розвитку теплового пробою ізоляції та пожеж.

КАБЕЛЬНА МЕРЕЖА, РОЗПОДІЛЕНІ ПАРАМЕТРИ, ЗАЛІЗОРУДНА
ШАХТА, ОДНОФАЗНЕ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Характеристика параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств	13
1.1. Характеристика силового обладнання підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств.....	13
1.2. Характеристика силових кабельних ліній підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств	15
Розділ 2. Визначення характеристик розподілу параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств	16
2.1. Визначення параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств	16
2.2. Визначення характеристик розподілу параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств	18
Розділ 3. Висунення гіпотез про закони, що описують розподіли параметрів характеристик підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств.....	20
3.1. Визначення характеристик розподілу параметрів поздовжнього опору підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств.....	20
3.2. Визначення характеристик розподілу параметрів індуктивності підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств.....	22
3.3. Визначення характеристик розподілу параметрів активної провідності підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств.....	23
3.4. Визначення характеристик розподілу параметрів ємності підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств	25

3.5. Визначені характеристики розподілу параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств	26
Висновки	28
Список використаних джерел	29
Додаток А.....	31
Додаток Б	32

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Роль кабельних мереж у системі підземного електропостачання

Сучасна залізорудна шахта — це надзвичайно складний інженерний комплекс, який споживає десятки мегават електроенергії.

Кровоносною системою цього комплексу є силові кабельні мережі (напругою 6 кВ, 10 кВ та низьковольтні мережі 0,4–1,14 кВ).

Вони забезпечують живлення потужних підймальних машин, водовідливних установок, бурових кареток, скреперних лебідок та вентиляторів головного провітрювання.

Загальна протяжність підземних кабельних трас на одній шахті може сягати десятків і навіть сотень кілометрів.

Від їхньої безперебійної та безпечної роботи залежить не лише виконання планів з видобутку руди, а й життя гірників.

Водночас саме кабельні лінії є найвразливішим елементом системи електропостачання.

Переважає більшість аварійних ситуацій (до 80%), таких як короткі замикання, вибухи електрообладнання та підземні пожежі, розпочинається з пошкодження кабельної ізоляції.

Агресивність середовища залізорудної шахти

Умови експлуатації кабелів у залізорудних шахтах мають суттєві відмінності від загальнопромислових умов і навіть від умов вугільних шахт.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

По-перше, гірничий масив залізорудних родовищ відрізняється значним водотоком мінералізованих (часто агресивних кислотних або лужних) вод.

Волога безперервно проникає крізь мікротріщини в оболонках кабелів, викликаючи прискорений "водяний трикінг" — незворотну фізико-хімічну деградацію зшитого поліетилену або ПВХ-ізоляції.

По-друге, специфічним фактором є наявність у повітрі дрібнодисперсного залізорудного пилу.

На відміну від вугільного, такий пил володіє високою електропровідністю та феромагнітними властивостями.

Осідаючи на поверхні кабелів та потрапляючи в муфти, він утворює струмопровідні містки, змінює поверхневий опір та спотворює електромагнітне поле навколо провідників.

По-третє, кабелі постійно зазнають руйнівних механічних впливів від вибухових робіт, обвалень гірської маси та пересування важкої самохідної техніки вузькими виробками.

Усе це призводить до нерівномірного (локального) погіршення діелектричних властивостей кабелю по його довжині.

Обмеження класичних методів релейного захисту

Основою електробезпеки в шахтах є використання мереж з ізолюваною нейтраллю трансформаторів (система IT).

Така система дозволяє продовжити роботу при виникненні однофазного замикання на землю (ОЗЗ), проте генерує небезпечні емнісні струми витоку.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Традиційні пристрої захисту від витоків на землю, що масово експлуатуються на підприємствах, базуються на вимірюванні сумарного опору ізоляції мережі постійним або низькочастотним оперативним струмом, а також на принципах вимірювання струму нульової послідовності промислової частоти (50 Гц).

Цей "зосереджений" підхід має критичний недолік: він розглядає розгалужену кабельну мережу як єдиний зосереджений елемент.

Однак із збільшенням протяжності кабелів їхня сумарна електрична ємність фаз відносно землі зростає настільки, що ємнісний струм замикання починає значно перевищувати активну складову струму витоку.

При дугових замиканнях (коли контакт із землею нестабільний) виникають небезпечні перенапруги (до 2,5-3 крат від номінальної напруги), які пробивають ізоляцію неушкоджених фаз, перетворюючи однофазне замикання у міжфазне коротке замикання.

Традиційні захисти часто або не помічають таких режимів (через їх переривчастий характер), або спрацьовують неселективно, знеструмлюючи всю шахту замість однієї аварійної ділянки.

Необхідність урахування розподілених параметрів

Для принципового вирішення цієї проблеми необхідний перехід від класичної теорії кіл до теорії ліній із розподіленими параметрами (використання телеграфних рівнянь).

Довгий шахтний кабель необхідно моделювати як континуальну систему, що характеризується погонним активним опором фаз (R), погонною індуктивністю (L), погонною ємністю відносно землі та між фазами (C), а також погонною активною провідністю ізоляції (G).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

У реальних умовах залізорудної шахти ці параметри не є константами.

Наприклад, параметр G різко зростає в місцях локального зволоження або накопичення струмопровідного пилу, а параметри C і L змінюються залежно від термічного стану кабелю та його деформації.

При виникненні пошкодження ізоляції в кабелі формуються електромагнітні хвилі, які поширюються від місця пробою до джерела живлення та навантаження, відбиваючись від неоднорідностей (муфт, розгалужень, кінців лінії).

Швидкість поширення цих хвиль, їхнє згасання та спектральний склад жорстко детерміновані саме характеристиками розподілу параметрів R , L , C , G .

Наукова та практична значущість

Визначення цих характеристик є ключем до створення інтелектуальних систем релейного захисту нового покоління — хвильових (або високочастотних) захистів.

Замість того, щоб аналізувати повільні зміни напруги 50 Гц, такі системи здатні зафіксувати фронт електромагнітної хвилі, що виникає в перші мікросекунди пробою ізоляції.

Знаючи характеристики розподілу параметрів конкретної шахтної мережі, можна з високою точністю (до кількох метрів) локалізувати місце пошкодження (метод рефлектометрії або одностороннього хвильового вимірювання).

Крім того, безперервний моніторинг зміни розподіленого параметра провідності G дозволяє ідентифікувати передаварійний стан (старіння або зволоження ізоляції) ще до виникнення іскри або дуги.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Таким чином, актуальність даного дослідження зумовлена гострою потребою гірничорудної промисловості в превентивних, селективних та високочутливих методах захисту, що ґрунтуються на глибокому розумінні хвильової природи процесів у розгалужених кабельних мережах.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Характеристика параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

1.1. Характеристика силового обладнання підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

Дослідження характеристик та електричних процесів у контактних мережах (к.м.) розглянемо з позиції використання для електровозного відкачування.

Комплекс підземного електровозного відкачування на зазначених шахтах включав усі основні типи електрообладнання:

силові трансформатори типу ТМШ, ШШ, ТМГШ, ТКШТ, ТШВП, ТСШСП та ін.;

перетворювачі типу АТП-500/275, ГМ-500, ТП-1000 та ін.;

електровози типу К, КР зі зчіпною вагою від 7 до 14 т.

Схеми живлення к.м. були централізованими та децентралізованими.

Централізовані схеми живилися від однієї перетворювальної підстанції, що живить горизонт, з розмахом крил к.м. до 2 км в один бік.

Децентралізовані схеми живилися від кількох перетворювальних підстанцій на горизонті з розмахом крил к.м. для кожної підстанції 1,2÷1,8 км.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Літ.	Лист	Листів
Розробив	Чернов В.С.						13	3
Перевірів	Касаткіна І.В.							
Реценз.								
Н. Контр.	Касаткіна І.В.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-22-1		

Сумарна протяжність к.м. на одній шахті лежала в межах від 10 до 30
км.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Характеристика силових кабельних ліній підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

Статистичні розподіли довжини к.м. мають такі значення:

середнє значення $L=1,39$ км;

середньоквадратичне відхилення $\sigma=0,67$ км;

мода $M_o=1,31$ км;

медіана $M_e=1,53$ км.

К.м. секціоновані по довжині на ділянки по 300÷600 м комутаційними апаратами.

Виробки закріплені дерев'яним, залізобетонним і металевим, а також комбінованим кріпленням.

Захист від ураження в к.м., був відсутній.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Визначення характеристик розподілу параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

2.1. Визначення параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

Параметри контактних мереж:

Для умов кожної к.м. було проведено цикл вимірювань, середні значення вимірюваних показників приймалися для визначення параметрів мережі.

В результаті визначені параметри к.м. для умов шахт, охоплених експериментами, й отримані їхні статистичні вибірки.

Статистичні характеристики розподілів параметрів к.м. наведені в табл. 2.1.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	Розділ 2	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>	Чернов В.С.						16	4
<i>Перевірів</i>	Касаткіна І.В.							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	Касаткіна І.В.							
<i>Затвердив</i>	Пересунько І.І.				КНУ ЕЕМ-22-1			

Таблиця 2.1 Статистики розподілу параметрів контактних мереж

Параметри розподілів	Статистичні оцінки параметрів розподілів							
	$R_{a.o.}$	L_0	$g_{a.o.}$	C_o	$R_{u.z.a.o.}$	$X_{c.o.}$	Y_o	Z_o
Математичне очікування *	0,87	1,49	0,045	0,056	36,6	68,6	0,041	27,0
Середньо-квадратичне відхилення *	0,22	0,36	0,029	0,024	27,4	39,50	0,028	17,4
Коефіцієнт варіації	0,25	0,24	0,644	0,428	0,75	0,58	0,680	0,64
Медіана *	0,89	1,35	0,054	0,069	29,1	61,2	0,046	23,1
Мода	0,84	1,47	0,028	0,041	20,4	57,4	0,033	18,1
Асиметрія	0,54	0,31	1,130	0,700	1,06	2,02	0,790	0,78
Ексцесс	0,36	0,11	0,810	0,680	0,56	5,69	0,014	-0,28

* розмірність відповідає розмірності признаку:

$R_{a.o.}$ – Ом/км;

L_0 – мГ/км;

$g_{a.o.}$, $u_{a.o.}$ – мСм/км;

C_o – мкФ/км;

$R_{u.z.a.o.}$, $X_{c.o.}$, Z_o – кОм/км.

2.2. Визначення характеристик розподілу параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

Усі розподіли одномодальні, що відображає статистичну однорідність експериментальних даних і свідчить про якісну представницькість вихідного статистичного матеріалу.

Одномодальність розподілів пояснюється тим, що експериментальні дослідження параметрів к.м. проводилися на шахтах одного гірничопромислового району, що характеризуються приблизно однаковими гірничо-геологічними, технологічними, експлуатаційними та іншими умовами.

Таким чином, експериментальні дослідження проводилися відповідно до розроблених методичних положень.

Розподіли параметрів к.м. є асиметричними з позитивною асиметрією, що говорить про переважання позитивних відхилень від середніх значень над негативними відхиленнями.

Розподіли опору петлі "контактний провід-рейка" та індуктивності мають меншу асиметрію, розподіли активної провідності та ємнісного опору ізоляції к.м. — більшу асиметрію.

Крутизна розподілів параметрів к.м., за винятком розподілу повного опору ізоляції, характеризується позитивними значеннями ексцесу.

Найбільше його значення притаманне розподілу ємнісного опору ізоляції, найменше — розподілу повної провідності ізоляції.

Розподіли параметрів к.м. характеризуються певним розсіюванням значень ознаки біля середнього значення.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більший ступінь розсіювання мають розподіли активного опору та повної провідності ізоляції, менший — розподіли опору петлі "контактний провід – рейка" та індуктивності к.м.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Розділ 3. Висунення гіпотез про закони, що описують розподіли параметрів характеристик підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

3.1. Визначення характеристик розподілу параметрів поздовжнього опору підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

Для висунення гіпотези про закони, що описують розподіли параметрів к.м., розглянемо характерні риси, що відображають фізичну сутність параметрів як випадкових величин, обґрунтуємо застосовність теоретичних моделей, а потім за допомогою критеріїв узгоди перевіримо адекватність емпіричних розподілів теоретичним моделям.

Поздовжній опір к.м. (опір петлі "тролей–рейкова колія") залежить від низки незалежних, що діють спільно, факторів, будь-який з яких не можна виділити як переважаючий над рештою.

До них належать: зношеність контактного проводу і рейкової колії; опори кабельних перемичок; перехідні опори в контактних секційних вимикачах і роз'єднувачах, а також у нероз'ємних контактних з'єднаннях тролей; опір стикових з'єднань рейкової колії тощо.

За такого характеру поздовжнього опору к.м. можна очікувати, що його величина розподілена за нормальним законом.

Можна відзначити низку ознак, які сприяють гіпотезі про нормальний закон: близькість значень математичного сподівання, медіани, моди; порівняно невисоке розсіювання окремих значень випадкової величини відносно середнього значення (коефіцієнт варіації менше 0,3).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат								
Розробив	Чернов В.С.				Розділ 3				Лім.	Лист	Листів	
Перевірів	Касаткіна І.В.										20	8
Реценз.									КНУ ЕЕМ-22-1			
Н. Контр.	Касаткіна І.В.											
Затвердив	Пересунько І.І.											

Виходячи з усього вищевикладеного, допускаємо гіпотезу, що величина поздовжнього опору к.м. розподілена за нормальним законом.

Графічне подання експериментальних даних на нормальному імовірнісному папері, перевірка за допомогою критеріїв узгоди Пірсона та Колмогорова дозволяють зробити висновок, що з імовірністю 0,95 можна прийняти гіпотезу про нормальний закон розподілу поздовжнього опору к.м. за густиною розподілу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Визначення характеристик розподілу параметрів індуктивності підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

Індуктивність к.м. залежить від таких факторів, як відстані між тролеем і рейковою колією, тролеем і додатковими провідниками (труби, броня кабелів тощо) у виробці; розміри гірничої виробки; провідності тролєя, додаткових провідників тощо.

Дію зазначених факторів на індуктивність к.м. можна охарактеризувати як спільну [9]. Частина з них, своєю чергою, випадковим чином залежить від гірничих умов (відстані, розміри гірничих виробок не залишаються постійними), причому переважаючий вплив будь-якого фактора виділити важко.

У цьому випадку можна очікувати розподіл індуктивності к.м. за нормальним законом. Статистики емпіричного розподілу індуктивності к.м. підтверджують можливість прийняття гіпотези про нормальний розподіл (близькість значень математичного сподівання, медіани та моди; невисокий ступінь розсіювання відносно математичного сподівання, коефіцієнт варіації менше 0,3).

Графічне подання упорядкованого варіаційного ряду значень індуктивності к.м. на нормальному імовірнісному папері, перевірка за критеріями узгоди Колмогорова та Пірсона дають підстави зробити висновок про те, що з імовірністю 0,95 немає підстав відхиляти гіпотезу про нормальний розподіл величини індуктивності к.м.

Густина розподілу визначається виразом (3.1, 3.2).

Значення параметрів закону наведені в табл. 3.1.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Визначення характеристик розподілу параметрів активної провідності підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

Розгляд експериментального розподілу активної провідності к.м. показує, що він має значну асиметрію — розходження значень математичного сподівання, медіани та моди, більше (порівняно з індуктивністю та поздовжнім опором к.м.) розсіювання значень відносно середнього.

Ці ознаки вказують на слабку можливість опису емпіричного розподілу нормальним законом.

У зв'язку з цим було виконано перевірку на імовірнісному папері та за допомогою критеріїв узгоди експериментального розподілу на закони: нормальний, логарифмічно-нормальний, Гамма- та Вейбулла.

В результаті було встановлено, що емпіричний розподіл незадовільно вирівнюється нормальним та логарифмічно-нормальним законами і добре апроксимується Гамма-розподілом та розподілом Вейбулла, причому найкраще вирівнювання проводиться розподілом Вейбулла.

Таким чином, можна прийняти гіпотезу, що з надійністю 0,95 розподіл активної провідності к.м. описується законами Вейбулла і Гамма, густини розподілу яких відповідно дорівнюють:

$$f(x) = \frac{r}{\sigma} \left(\frac{x}{\sigma}\right)^{r-e} \cdot \exp \left[-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2 \right], \quad (3.1)$$

$$f(x) = \frac{\lambda}{\Gamma(r)} \cdot x^{r-1} \cdot \exp(-\lambda x) . \quad (3.2)$$

У виразах (3.1) та (3.2) k — параметр форми законів; T — параметри масштабів законів; $\Gamma(k)$ — Гамма-функція.

Значення параметрів законів наведені в табл. 3.1.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Визначення характеристик розподілу параметрів ємності підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

Аналогічний підхід здійснено при розгляді характеру розподілів ємності к.м., активного, ємнісного та повного опорів ізоляції, повної провідності ізоляції к.м.

Розподіли значень цих параметрів були піддані перевірці на ті ж закони, що й розподіл значень активної провідності к.м.

В результаті було встановлено, що всі зазначені розподіли з надійністю 0,95 можуть бути виражені законами Вейбулла (3.1) та Гамма (3.2).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5. Визначені характеристики розподілу параметрів підземних контактних мереж в умовах гірничорудних підприємств

Значення параметрів законів розподілу наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Закони розподілу параметрів контактних мереж

Параметри контактних мереж	Закони розподілу			Критерії згоди			
		Параметри		Пірсона		Колмогорова	
	Вид			χ_n^2	$\chi_{кр}^2$	λ_n	$\lambda_{кр}$
Активний опір	нормальний	$\mu=0,875$	$\sigma=0,224$	3,73	7,8	0,721	1,358
Індуктивність	нормальний	$\mu=1,495$	$\sigma=0,364$	1,69	3,8	0,144	1,358
Активна провідність	Вейбулла	$\mu=1,60$	$\sigma=0,05$	0,98	7,8	0,230	1,358
	Гамма	$\mu=1,60$	$\lambda=0,017$	2,27	7,8	0,367	1,358
Ємність	Вейбулла	$\mu=2,50$	$\sigma=0,06$	2,25	6,0	0,288	1,358
	Гамма	$\mu=4,50$	$\lambda=0,010$	4,90	6,0	0,906	1,356
Активний опір ізоляції	Гамма	$\mu=1,10$	$\lambda=20,6$	1,37	6,0	0,266	1,358
	Вейбулла	$\mu=1,50$	$\sigma=37,0$	3,74	6,0	0,453	1,358
Ємнісний опір ізоляції	Вейбулла	$\mu=2,00$	$\sigma=75,0$	1,92	3,8	0,234	1,358
	Гамма	$\mu=2,00$	$\lambda=22,7$	2,07	3,8	0,382	1,358
Повна провідність ізоляції	Вейбулла	$\mu=2,00$	$\sigma=0,06$	0,91	7,8	0,437	1,358
	Гамма	$\mu=1,10$	$\lambda=0,02$	5,59	7,8	1,022	1,358
Повний опір ізоляції	Гамма	$\mu=1,40$	$\lambda=11,2$	1,36	6,0	0,187	1,358
	Вейбулла	$\mu=2,00$	$\sigma=29,0$	2,91	6,0	0,324	1,358

Встановлені закономірності параметрів к.м. дозволяють оцінювати їх як випадкові величини та використовувати їх при розробці заходів щодо підвищення електробезпеки в к.м.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно було виконати такі завдання:

Проаналізувати вплив специфічних факторів залізрудних шахт (висока обводненість мінералізованими водами, наявність струмопровідного магнітного пилу, динамічні механічні навантаження) на зміну первинних електричних параметрів ізоляції та струмопровідних жил кабелів.

Розробити адекватну математичну модель розгалуженої шахтної кабельної мережі як лінії з розподіленими параметрами (питомим активним опором R , індуктивністю L , ємністю C та провідністю ізоляції G).

Дослідити хвильові та перехідні процеси, що виникають у кабелях під час найпоширеніших аварій — однофазних витоків струму на землю та дугових замикань.

Визначити залежності між просторовим розподілом параметрів кабельної лінії та спектральними (або високочастотними) характеристиками струмів і напруг нульової послідовності.

Розробити алгоритмічне забезпечення для мікропроцесорних терміналів релейного захисту, що дозволить селективно виявляти пошкоджену ділянку мережі на основі аналізу хвильових процесів, не допускаючи розвитку теплового пробою ізоляції та пожеж.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Grigsby, L. L. (Ed.). (2012). Electric Power Generation, Transmission, and Distribution (3rd ed.). CRC Press.
2. Das, J. C. (2017). Understanding Symmetrical Components for Power System Modeling. IEEE Press/Wiley.
3. Christopoulos, C. (2011). The Transmission-Line Modeling Method: TLM (2nd ed.). IEEE Press.
4. Paul, C. R. (2007). Analysis of Multiconductor Transmission Lines (2nd ed.). John Wiley & Sons.
5. Roberts, G. W., & Sedra, A. S. (2004). Power Distribution Networks with On-Chip Decoupling Capacitors. Springer. (Includes fundamental transmission line theory applicable to power grids).
6. Geri, A. (2001). Frequency dependent behavior of transmission lines and cables. IEEE Transactions on Power Delivery, 16(3), 416-422.
7. Costa, F., Degardin, V., & Liénard, M. (2013). High-frequency model of shielded power cables for power-line communication and fault detection. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 55(1), 140-147.
8. Bollen, M. H. J., & Gu, I. Y. H. (2006). Signal Processing of Power Quality Disturbances. IEEE Press/Wiley. (Focuses on transient detection and wave forms).
9. Xue, S., & Zhang, Y. (2014). Research on leakage current protection in coal mine low voltage power supply system. Journal of Applied Sciences, 14(11), 1145-1150.

10. Paolone, M., Borghetti, A., & Nucci, C. A. (2001). A transient recovery voltage analysis of underground cable systems. Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE, 2, 856-861.

11. Zeller, H. R. (2004). Breakdown and prebreakdown phenomena in solid dielectrics. IEEE Transactions on Electrical Insulation, 22(2), 115-122.

12. Habur, K., & O'Leary, D. (2004). Fault location on ungrounded and high-resistance grounded systems. IEEE Transactions on Industry Applications, 40(2), 643-649.

13. Sottile, J., & Trutt, F. C. (2003). High-frequency signatures for fault detection in mining power systems. IEEE Transactions on Industry Applications, 39(4), 1164-1169.

14. Borghetti, A., Bosetti, M., Di Silvestro, M., Nucci, C. A., & Paolone, M. (2008). Continuous-wavelet transform for fault location in distribution power networks: Definition of signatures. IEEE Transactions on Power Systems, 23(2), 713-720.

15. IEEE. (2007). IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems, Part IV: Distribution (IEEE Std C62.92.4-1991). IEEE Standards Association.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-12	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Статистики розподілу параметрів контактних мереж

Параметри розподілів	Статистичні оцінки параметрів розподілів							
	$R_{a.o.}$	L_0	$g_{a.o.}$	C_0	$R_{u.z.a.o.}$	$X_{c.o.}$	Y_0	Z_0
Математичне очікування *	0,87	1,49	0,045	0,056	36,6	68,6	0,041	27,0
Середньо-квадратичне відхилення *	0,22	0,36	0,029	0,024	27,4	39,50	0,028	17,4
Коефіцієнт варіації	0,25	0,24	0,644	0,428	0,75	0,58	0,680	0,64
Медіана *	0,89	1,35	0,054	0,069	29,1	61,2	0,046	23,1
Мода	0,84	1,47	0,028	0,041	20,4	57,4	0,033	18,1
Асиметрія	0,54	0,31	1,130	0,700	1,06	2,02	0,790	0,78
Ексцесс	0,36	0,11	0,810	0,680	0,56	5,69	0,014	-0,28

Закони розподілу параметрів контактних мереж

Параметри контактних мереж	Закони розподілу			Критерії згоди			
		Параметри		Пірсона		Колмогорова	
	Вид			χ^2_n	$\chi^2_{кр}$	λ_n	$\lambda_{кр}$
Активний опір	нормальний	$\mu=0,875$	$\sigma=0,224$	3,73	7,8	0,721	1,358
Індуктивність	нормальний	$\mu=1,495$	$\sigma=0,364$	1,69	3,8	0,144	1,358
Активна провідність	Вейбулла	$\mu=1,60$	$\sigma=0,05$	0,98	7,8	0,230	1,358
	Гамма	$\mu=1,60$	$\lambda=0,017$	2,27	7,8	0,367	1,358
Ємність	Вейбулла	$\mu=2,50$	$\sigma=0,06$	2,25	6,0	0,288	1,358
	Гамма	$\mu=4,50$	$\lambda=0,010$	4,90	6,0	0,906	1,356
Активний опір ізоляції	Гамма	$\mu=1,10$	$\lambda=20,6$	1,37	6,0	0,266	1,358
	Вейбулла	$\mu=1,50$	$\sigma=37,0$	3,74	6,0	0,453	1,358
Ємнісний опір ізоляції	Вейбулла	$\mu=2,00$	$\sigma=75,0$	1,92	3,8	0,234	1,358
	Гамма	$\mu=2,00$	$\lambda=22,7$	2,07	3,8	0,382	1,358
Повна провідність ізоляції	Вейбулла	$\mu=2,00$	$\sigma=0,06$	0,91	7,8	0,437	1,358
	Гамма	$\mu=1,10$	$\lambda=0,02$	5,59	7,8	1,022	1,358
Повний опір ізоляції	Гамма	$\mu=1,40$	$\lambda=11,2$	1,36	6,0	0,187	1,358
	Вейбулла	$\mu=2,00$	$\sigma=29,0$	2,91	6,0	0,324	1,358