

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»**

ГРЕБЕНЮК Андрій Миколайович

УДК 621.316.9:621.616.13

**МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ ЗАХИСТУ ПРИ ОБРИВІ ПРОВОДІВ
КАР'ЄРНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ І ТЯГОВИХ МЕРЕЖ**

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі відновлюваних джерел енергії Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шкрабець Федір Павлович,
Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, завідувач кафедри відновлюваних джерел енергії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Разумний Юрій Тимофійович,
Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, професор кафедри систем електропостачання;

кандидат технічних наук, доцент
Маренич Костянтин Миколайович,
Державний вищий навчальний заклад "Донецький національний технічний університет" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, завідувач кафедри гірничої електротехніки і автоматики ім. Р.М. Лейбова.

Захист відбудеться «___» _____ 2012 р. об ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий «___» _____ 2012 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.В. Остапчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Досить жорсткі умови експлуатації систем електропостачання кар'єрів визначають високу пошкоджуваність розподільних і тягових мереж. Основна маса ушкоджень пов'язана з порушенням ізоляції мережі відносно землі, а також обрив проводів повітряних ліній розподільних і тягових мереж з наступним їхнім падінням на землю або заземлені конструкції. Однією з поширених причин обриву є механічне навантаження ожеледі на проводи. У цей час, за рахунок мінливих кліматичних умов, практично у всіх регіонах України товщина стінки ожеледі на проводах може досягати 200 мм при швидкості вітру 30 м/сек. Таке співвідношення зовнішніх факторів визначили механічні навантаження, які значно перевищують розрахункові значення.

Підвищення надійності електропостачання кар'єрів, поліпшення умов електробезпеки залежить від успішного розв'язання низки питань, серед яких важливе місце займають питання попередження обривів проводів повітряних розподільних і тягових мереж від механічних навантажень ожеледі та вітру і створення методів і технічних засобів, що забезпечують необхідні умови електробезпеки при названих аварійних режимах.

У дисертації вирішується науково-прикладна задача яка полягає в обґрунтуванні й розробці методів підвищення надійності повітряних ліній і створенні пристроїв випереджального вимикання та захисту при обриві проводів в кар'єрних розподільних і тягових мережах для забезпечення умов безпеки і ефективності систем електропостачання кар'єрів.

Значний внесок у вирішення питань забезпечення надійності і електробезпеки систем електропостачання гірничих підприємств внесли вчені Волотковський С.А., Груба В.І., Кириленко А.В., Кутін В.М., Півняк Г.Г., Праховник А.В., Разумний Ю.Т., Самойлович І.С., Сирота І.М., Шідловський А.К., Щуцкий В.І., та ін. Провідна роль у розробці і впровадженні методів і засобів підвищення надійності та електробезпеки систем електропостачання гірничих підприємств в Україні належить колективам науково-дослідних інститутів: ІЕД НАН України, МакНДІ, ДП НДІББГ, УкрНДІВЕ, а також вченим провідних вищих навчальних закладів країни: Національного технічного університету "КПІ", Національного технічного університету "ХПІ", Донецького і Вінницького Національних технічних університетів, Державного вищого навчального закладу "Національний гірничий університет" та ін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно планів науково-дослідних робіт Державного ВНЗ "Національний гірничий університет": "Дослідження і встановлення закономірностей зміни параметрів, властивостей та технічних втрат в елементах систем електропостачання" № держ. реєстр. 0106U001375; "Дослідження процесів і параметрів аварійних струмів та розробка методів компенсації ємнісної, активної й гармонійних складових струмів замикання на землю в електричних мережах з напругою 6-10 кВ гірничозбагачувальних комплексів" № держ. реєстр. 0102U003023; "Розробити метод непрямої оцінки параметрів ізоляції відносно землі електроустановок напругою 6 - 10 кВ" № держ. реєстр. 0104U005994.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня надійності й електробезпеки експлуатації розподільних і тягових мереж кар'єрів при обриві проводів повітряної лінії електропередач (ЛЕП) або контактної мережі на основі врахування та забезпечення фізичної міцності електричних мереж і використання принципів випереджаючого вимикання.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані і вирішені наступні завдання досліджень:

- 1) дослідити процеси при обриві проводів повітряної ЛЕП або контактної мережі і їх вплив на рівень електробезпеки в умовах кар'єру;
- 2) розробити способи і рекомендації забезпечення та підвищення фізичної міцності, повітряних ЛЕП мереж кар'єрів;
- 3) розробити способи і обладнання захисту та захисного вимикання при обриві проводів кар'єрних повітряних ЛЕП і контактних мереж.

Об'єктом досліджень є фізичні й електротехнічні процеси при обриві проводів у повітряних розподільних і тягових мережах кар'єрів.

Предметом досліджень є методи і технічні засоби підвищення надійності та електробезпеки повітряних розподільних і тягових мереж кар'єрів у критичних кліматичних умовах експлуатації.

Методи досліджень: аналітичні методи досліджень; математичне моделювання на основі формалізації досліджуваних процесів і побудови приватних математичних моделей; загальна теорія електричних кіл, а також натурні експерименти з метою практичної перевірки результатів теоретичних досліджень і прийнятих технічних рішень.

Наукові положення.

1. Діючі значення аварійних струмів замикання на землю, а також напруг і струмів нульової послідовності при розриві фазного проводу і падіння його на землю, визначаються співвідношенням перехідних опорів у точках торкання землі та можуть приймати значення вдвічі менші в порівнянні з класичним видом замикання на землю при тих же параметрах мережі.

2. У повітряній лінії систем електропостачання кар'єрів припустиме механічне навантаження на проводи зростає обернено пропорційно квадрату відносного зменшення довжини прольоту, що забезпечує різке збільшення стійкості ЛЕП, як складової електротехнічного комплексу.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше встановлені умови виникнення аварійних режимів, при яких є можливість неспрацьовування штатних пристроїв захисту, що дозволило обґрунтувати спосіб захисного (випереджаючого) вимикання.

2. Вперше встановлена залежність зміни граничного розривного зусилля в часі від впливу корозії на проводи при тривалій експлуатації повітряних ліній електропередач за рахунок зменшення сумарного діаметра проводів ліній, що призводить до зменшення механічної міцності проводів кар'єрних мереж.

3. Вперше розроблені принципи захисного вимикання при обриві фазного проводу для розподільних установок із трьома та двома лінійними трансформаторами струму відповідно, що дозволило обґрунтувати, надалі, функціональну схему си-

стеми захисного вимикання і реалізацію пристрою захисного вимикання на базі дискретних електронних елементів та сучасних мікроконтролерів.

4. Вперше обґрунтований диференційний принцип виконання захисту тягових мереж змінного струму внутрішньокар'єрного електровозного транспорту від аварійних режимів, які виникають при обриві контактного проводу та враховує порівняння струму живлення підстанції зі струмами споживаними електровозами, які перебувають на даній секції та дозволило забезпечити чутливий захист тягової мережі від коротких замикань і замикань на землю в результаті обриву контактного проводу незалежно від режимів роботи електровозів і їхньої кількості в зоні захисту.

5. Вперше, на основі накладення на тягову мережу оперативного синусоїдного струму непромислової частоти, розроблений метод контролю цілісності та виконання захисного вимикання при обриві контактного проводу кар'єрної тягової мережі змінного або постійного струму для нерозгалужених кар'єрних тягових мереж.

6. Вперше встановлена залежність збільшення запасу міцності проводів для стаціонарних кар'єрних повітряних ліній електропередач від довжини прольоту, що дозволило обґрунтувати зменшення довжини прольоту на 10...30 % відносно до нормативного значення для заданої кліматичної зони, що призводить до збільшення запасу міцності проводів повітряних ліній в 1,2...2,1 рази.

Практична цінність отриманих результатів полягає в оцінці впливу характеру замикання на землю при розриві проводу однієї фази на електробезпеку і на працездатність пристроїв захисту; у розробці пристрою захисного вимикання при обриві проводу розподільної мережі напругою 6 кВ і пристрою захисного вимикання напруги при обриві контактного проводу кар'єрної тягової мережі, що забезпечує вимикання її до моменту торкання проводом землі або корпусів устаткування; у встановленні характеру зміни в часі граничного розривного зусилля за рахунок зменшення сумарного діаметра проводу повітряної лінії від дії корозії; в розробці рекомендацій зі зменшення зверх припустимих відкладень ожеледі і забезпеченні механічної стійкості проводів до впливу кліматичних факторів.

Реалізація роботи. Наукові положення, висновки і рекомендації використані:

– ЗАТ "НДІАчермет": результати теоретичних досліджень, принципова й функціональна схема пристрою захисного вимикання при обриві проводу повітряної ЛЕП.

– Центральна служба релейного захисту і автоматики ВАТ "Енергопостачальна компанія Дніпрообленерго": результати щодо виконання захисного вимикання при обриві проводу в електричних мережах високої напруги та функціональна схема пристрою захисного вимикання при обриві фазного проводу на базі сучасних електронних елементів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: відповідністю прийнятих при розробці математичних моделей, припущень, мети та завданням досліджень; обґрунтованістю вихідних посилок які впливають з фундаментальних законів природничих наук та основ теорії електричних кіл; задовільним збігом якісних характеристик результатів теоретичних досліджень з результатами експериментів; практичним використанням результатів досліджень.

Особистий внесок здобувача полягає у постановці завдань досліджень; у теоретичному обґрунтуванні і створенні пристроїв захисного вимикання при обриві провода для кар'єрних розподільних і тягових мереж; в оцінці умов електробезпеки при обриві провода повітряних розподільних і тягових мереж кар'єрів; у встановленні впливу показників середовища експлуатації на фізичні параметри проводів повітряних ліній і розробці рекомендацій з попередження та боротьби з відкладеннями ожеледі на проводах.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення одержали схвалення на: міжнародній науково-технічній конференції "Наука і освіта – 2003" (Дніпропетровськ – Кривий Ріг, 2003 р.); VI міжнародній науково-технічній конференції "Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств" EPQ 2008 (м. Маріуполь, 2008 р.); восьмій щорічній промисловій конференції "Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях" (с. Славське, Карпати, 2008 р.); I міжнародній науково-практичній конференції "Электрификация железнодорожного транспорта ТРАНСЭЛЕКТРО-2007" (м. Дніпропетровськ, ДНУЗТ імені акад. В. Лазаряна, 2007 р.); II міжнародній науково-практичній конференції "Электрификация железнодорожного транспорта ТРАНСЭЛЕКТРО-2008" (м. Дніпропетровськ, ДНУЗТ імені акад. В. Лазаряна, 2008 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Неделя горняка" у Московському державному гірничому університеті (м. Москва, Росія, 2008 р.); міжнародній науково-практичній конференції "Реалізація принципів Болонського процесу при підготовці фахівців і розвитку наукових досліджень у галузі електроенергетики та інформаційних технологій" (м. Дніпропетровськ, НГУ, 2010 р.).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 17 друкованих наукових працях, з них 1 – монографії (в співавторстві), 11 – у фахових виданнях, 5 – матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Загальний обсяг роботи становить 176 сторінок в тому числі 152 сторінки основного тексту, 37 рисунків, 8 таблиць, перелік використаних джерел (106 найменувань) і 4 додатка на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання наукових досліджень, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, викладено наукові положення і наукову новизну отриманих результатів, практичне значення і реалізація результатів дисертаційних досліджень, представлено відомості про публікацію, апробацію та впровадження за темою та особистий внесок автора.

У **першому розділі** розглянуто особливості експлуатації повітряних розподільних ліній електропередачі і тягових мереж кар'єрів. Досвід експлуатації кар'єрних розподільних мереж (КРМ) свідчить, що прості гірничої техніки через перерви в електропостачанні досягають 6 % від фонду робочого часу. При цьому «внесок» КРМ (пересувних і тимчасових ліній електропередачі) у загальний час простою екскаваторів становить близько 50 % (37 % - на технологічні перемикання в мережі та 13 % - на аварійні вимикання). Інший час перерв обумовлений аварійним вимикан-

ням електроустаткування екскаваторів (двигунів і генераторів) - 32 %, стаціонарних ЛЕП і живильних елементів систем електропостачання (СЕП) - 18 %.

Досить жорсткі умови експлуатації систем електропостачання кар'єрів визначають високу пошкоджуваність розподільних і тягових мереж та устаткування. Основні пошкодження в розподільних мережах пов'язані з порушенням ізоляції фаз мережі відносно землі. Однією з причин виникнення відзначених аварійних режимів є обрив і падіння проводів розподільних і тягових мереж на землю або заземлені конструкції.

Виконаний аналіз даних про пошкодження повітряних ЛЕП кар'єрів свідчить про те, що найбільш вагомими причинами пошкодження всіх конструктивних елементів повітряних ЛЕП кар'єрів є атмосферні причини (приблизно 50%), при цьому основною причиною, що викликає пошкодження проводів повітряних ЛЕП кар'єрів, є ожеледні та вітрові навантаження. Крім того, пошкодження проводів повітряних ЛЕП можна умовно розділити на три види: втомне руйнування проводів; абразивне стирання; руйнування проводів при розтяганні, а також корозія проводів.

Експлуатація контактних мереж залізничного транспорту кар'єрів ускладнюється у зв'язку з наявністю постійних і пересувних шляхів, а також наявністю зон навантаження, де контактна мережа робиться зміщеною для забезпечення роботи навантажувального екскаватора. Саме в цих зонах досить ймовірні такі пошкодження як обрив контактного проводу з наступним замиканням на корпус заземленого кар'єрного технологічного устаткування, або торкання контактного проводу ковшем екскаватора, який, у свою чергу, з'єднаний із загально кар'єрною заземлювальною мережею.

Попередній аналіз працездатності засобів захисту виконаний у роботі, показав, що можливі аварійні режими, при яких ймовірно неспрацювання штатних засобів захисту від аварійних режимів. Якщо врахувати перехідний опір у точці замикання і складність визначення, де відбулося замикання (відбувся обрив проводу, або пробій ізолятора), то ймовірність неспрацювання пристроїв захисту різко зростає, отже, різко зростає ймовірність попадання персоналу в кар'єрі під дію крокових напруг при замиканнях на землю та під дію виносних потенціалів при замиканнях на корпус заземлених електрифікованих машин і механізмів.

Для виключення зазначених недоліків і мінімізації наслідків аварійних режимів запропоновано використовувати принцип захисного (випереджаючого) вимикання при обриві проводів повітряних розподільних і контактних мереж у кар'єрах та розробити рекомендації з підвищення їхньої механічної міцності. Наприкінці розділу автором сформульовано мету і завдання досліджень.

У **другому розділі** виконано дослідження аварійних процесів при обриві проводу однієї з фаз у розподільній мережі та контактного проводу тягової мережі кар'єра. Обрив проводу однієї з фаз повітряної ЛЕП у розподільних мережах характеризується переходом аварійного режиму при торканні обірваного проводу землі до нетипових однофазних замикань на землю, а саме: замикання на землю з боку електроприймача (торкання землі проводом, зв'язаним тільки зі споживачем) і замикання однієї фази на землю у двох точках одночасно, з боку джерела та з боку електроприймача (рис. 1).

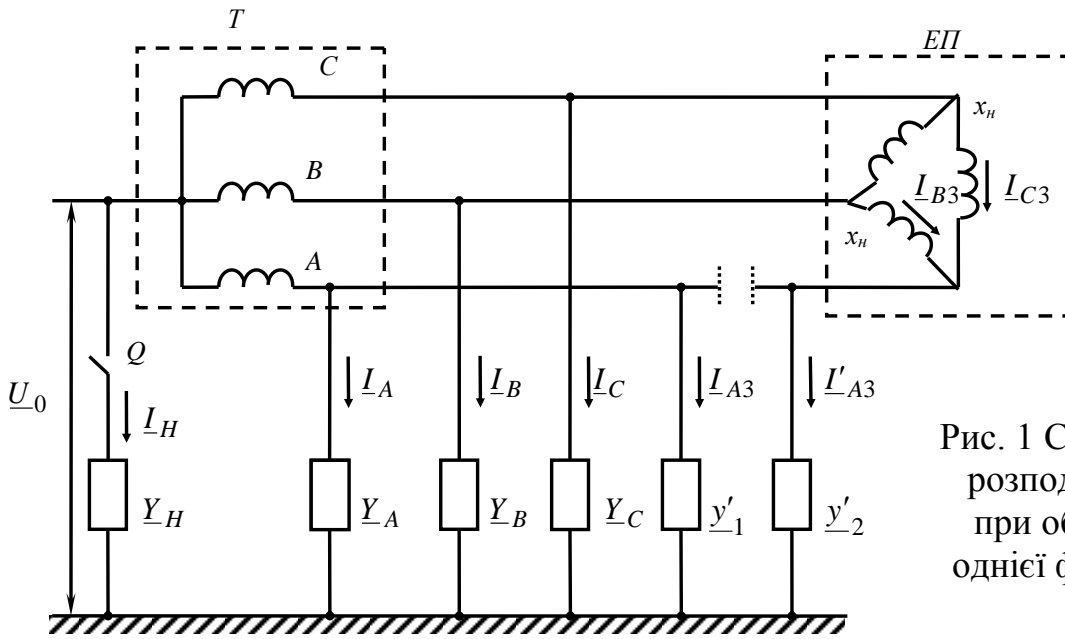


Рис. 1 Схема заміщення розподільної мережі при обриві проводу однієї фази повітряної ЛЕП

Значення аварійних струмів при однофазних замиканнях на землю в разі обриву фазного проводу в кар'єрних розподільних мережах напругою 6 - 35 кВ у загальному випадку визначаються рівнем напруги мережі, параметрами ізоляції (ємністю і активним опором) мережі відносно землі та особливостями аварійного режиму.

Для випадку замикання на землю з боку електроприймача струм замикання, напруга зсуву нейтралі (нульової послідовності), струм нульової послідовності (при обриві проводу і замиканні на землю в контрольованій лінії розподільної мережі) і власний струм приєднання (при обриві проводу і замиканні на землю поза контрольованою лінією) відповідно визначаються за наступними виразами:

$$I_3 = -U_0(3Y + Y_H) = -U_{\phi} y'_{-2} \frac{3Y + Y_H}{3Y + Y_H + 2y'_{-2}}; \quad (1)$$

$$U_0 = U_{\phi A} y'_{-2} / (3Y + Y_H + 2y'_{-2}); \quad (2)$$

$$I_0 = -U_{\phi A} (3Y - 3Y_1 + Y_H) \frac{y'_{-2}}{3Y + Y_H + 2y'_{-2}}; \quad (3)$$

$$I_{0C} = 3U_{\phi A} Y \frac{y'_{-2}}{3Y + Y_H + 2y'_{-2}}, \quad (4)$$

де $Y = Y_A = Y_B = Y_C = \frac{1}{R} + j\omega C$; R, C – відповідно активний опір ізоляції і ємність розподільної мережі відносно землі; Y_H – провідність нейтралі мережі відносно землі (дорівнює: - нулю для мережі з повністю ізолюваною нейтраллю; $-\frac{1}{R_K} - j\frac{1}{\omega L}$ для мережі з компенсованою нейтраллю (R_K і L параметри дугогасного реактора); $-\frac{1}{R_a}$ для мережі з резистором у нейтралі (R_a активний опір резистора); $y'_{-2} = \frac{1}{(r_2 + j\omega L_H)}$ – провідність кола замикання на землю з боку електроприймача; r_2 – опір у точці замикання; ωL_H – індуктивний опір електроприймача.

Для випадку одночасного замикання на землю з боку джерела та з боку електроприймача при обриві проводу, струм замикання та відповідні величини нульової послідовності визначаються виразами (5)...(8):

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_{A3} + \underline{I}'_{A3} = \underline{U}_{\phi A} (3\underline{Y} + \underline{Y}_H) \frac{\underline{y}'_1 - \underline{y}'_2}{3\underline{Y} + \underline{Y}_H + 2\underline{y}'_2 + \underline{y}'_1}; \quad (5)$$

$$\underline{U}_0 = -\underline{U}_{\phi A} \frac{\underline{y}'_1 - \underline{y}'_2}{3\underline{Y} + \underline{Y}_H + 2\underline{y}'_2 + \underline{y}'_1}; \quad (6)$$

$$\underline{I}_0 = \underline{U}_{\phi A} (3\underline{Y} - 3\underline{Y}_1 + \underline{Y}_H) \frac{\underline{y}'_1 - \underline{y}'_2}{3\underline{Y} + \underline{Y}_H + 2\underline{y}'_2 + \underline{y}'_1}; \quad (7)$$

$$\underline{I}_{0C} = -3\underline{U}_{\phi A} \underline{Y}_1 \frac{\underline{y}'_1 - \underline{y}'_2}{3\underline{Y} + \underline{Y}_H + 2\underline{y}'_2 + \underline{y}'_1}; \quad (8)$$

де $\underline{y}'_1 = \frac{1}{r_1}$ – провідність кола замикання на землю з боку джерела; r_1 – перехідний опір у точці замикання.

Виконані дослідження та порівняльна оцінка характеру зміни амплітудних і фазових значень аварійних струмів, а також напруги і струмів нульової послідовності при пошкодженнях з боку електроприймача залежно від параметрів розподільної мережі та перехідних опорів у місці пошкодження, показали, що отримані результати становлять інтерес з погляду оцінки працездатності існуючих пристроїв захисту від несиметричних пошкоджень та необхідні при розробці нових принципів і пристроїв захисту.

Аварійні режими у кар'єрних тягових мережах, викликані обривом контактного проводу можуть характеризуватися появою коротких замикань (дотику рейки або корпусу думпкара), замикань на ґрунт, а також замикань на заземлюючу мережу кар'єра внаслідок дотику обірваним контактним проводом корпусу заземленого (під'єданого до загально кар'єрної заземлювальної мережі) технологічного обладнання, супроводжуються появою небезпечних значень аварійних струмів, потенціалів і крокової напруги, що позначається на надійності елементів тягової мережі та умови електробезпеки, особливо у випадку неспрацьовування в таких режимах штатних пристроїв захисту. Дослідження показали, що значення аварійних струмів при обриві контактного проводу і дотику ним кар'єрного технологічного обладнання (наприклад екскаватора) в загальному випадку визначаються не тільки елементами живильної системи електропостачання, а і опорами тягової мережі, перехідними опорами в точці замикання і опорами елементів заземлювальної мережі та в певних умовах є співмірними (або меншими) зі струмами спрацьовування штатних пристроїв захисту, що призводить до неспрацьовування останніх.

Обрив контактний проводу в кар'єрних тягових мережах пов'язаний з різким погіршенням умов безпеки. При цьому ступінь небезпеки зростає зі збільшенням застосовуваної в тяговій мережі напруги. Ураження людини можливе дією струму при безпосередньому дотику проводу який упав; крокової напруги; напруги дотику до корпусів заземленого електрообладнання та технологічних машин при попаданні обірваного проводу на металеві конструкції або машини. У перших двох випадках ступінь небезпеки при інших рівних умовах визначається рівнем напруги кар'єрної тягової мережі і звичайно, тягової мережі змінного струму (10 кВ) становлять більшу загрозу, ніж мережі постійного струму (1,5 кВ).

Дотик обірваного контактного проводу заземленого корпусу електрообладнання або технологічних машин представляє особливу небезпеку з точки зору ураження людей електричним струмом за рахунок появи на корпусі електрообладнання потенціалів, що значно перевищують допустимі рівні, особливо, для тягової мережі напругою 10 кВ. Становище ускладнюється тим, що небезпечні потенціали з'являються не тільки на корпусі екскаватора, який бере участь в аварійній ситуації, а й на корпусах машин і установок, віддалених від місця аварії на значні відстані, але підключених до загально кар'єрної заземлювальної мережі (рис. 2).

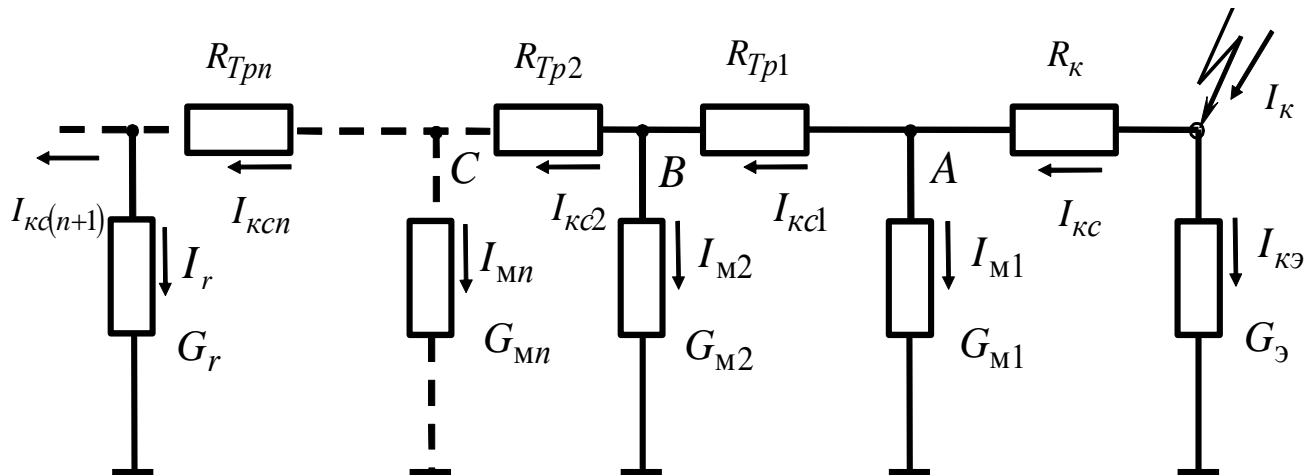


Рис. 2. Розподіл аварійних струмів по мережі заземлення при дотику обірваного контактного проводу корпусу екскаватора

У загальному випадку напруга дотику на корпусі будь-якого електрообладнання (виносних потенціалів) визначається опором переходу "корпус-земля" і значенням струму, що протікає по ньому. Значення виносних потенціалів залежать, у першу чергу, від значення аварійного струму, а також від опорів провідників мережі заземлення, опорів місцевих і головного заземлювачів та місця підключення корпусу до мережі заземлення (стосовно місця аварії). Напруга відносно землі на корпусі n – обладнання відповідно до рис. 2 буде дорівнювати

$$U_n = U_{n-1} - I_{kcn} \cdot R_{Tpn}, \quad (9)$$

де $I_{kcn} = \frac{I_{kc(n-1)} \cdot R_{Mn}}{R_{Mn} + R_{cn}}$ – частина струму короткого замикання, що протікає через перехід "корпус n – обладнання – земля";

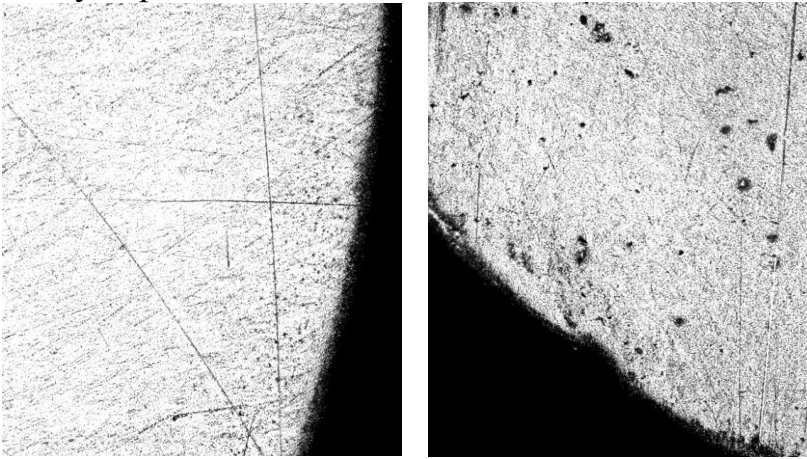
Виконані розрахунки для умов Полтавського ГЗК показують, що (напруга тягової мережі 10 кВ) виносні потенціали, виходячи з реальних значень аварійних струмів при розглянутому пошкодженні, становлять близько 3 - 5 кВ.

Оцінка умов електробезпеки кар'єрних розподільних мереж показує, що при безпосередньому дотику людини до провідника розірваної фази з боку електроприймача, така ж як і при дотику до струмовідних частин при напрузі мережі 6 кВ і більше, імовірність смертельного результату з урахуванням реальних параметрів ізоляції та часу дії комутаційних апаратів, практично, дорівнює одиниці. Значення струмів через тіло людини при розглянутому пошкодженні при відсутності додат-

кових ізоляційних засобів, значно перевищують короткочасно безпечні значення струмів.

У **третьому розділі** розглянуто принципи формування механічних навантажень на провід повітряних ЛЕП і викладено результати досліджень механічної стійкості та впливу середовища експлуатації на фізичні параметри проводів повітряних ЛЕП кар'єрів. Виконані дослідження дозволили встановити, що основними факторами механічного руйнування проводів повітряних ліній є відкладення ожеледі на проводах.

Тривала експлуатація повітряних ЛЕП неминуче призводить до зменшення механічної міцності елементів ЛЕП. Волога й хімічні реагенти, що перебувають у складі повітря та ґрунту, викликають окислювання проводів, тросів, деталей арматур і частин опор. Хімічні солі, кислоти, луги промислового або природного походження, осідаючи на частинах повітряних ліній, викликають хімічну або електрохімічну корозію.



а)

б)

Рис. 3. Збільшена в 100 разів фотографія зрізу дроту алюмінієвого проводу:
а) новий (не експлуатувався),
б) старий (20 років експлуатації)

Сплави алюмінію піддаються переважно виразковій корозії (рис. 3). Механічні напруги та деформація завжди збільшують швидкість корозії і часто погіршують її розподіл, переводячи її з рівномірної або місцевої в інтеркристалічну. Корозійний процес алюмінію за даними літературних джерел відбувається зі швидкістю в середньому 1-4 мкм/рік і призводить до зменшення діаметра проводів d повітряних ЛЕП. Тоді можна вважати, що корозія алюмінію проводів лінії електропередачі призводить до зменшення діаметра

алюмінієвої жили проводу на величину Δd_0 за один рік, а за строк експлуатації T зменшення діаметра складає:

$$\Delta d = \Delta d_0 T$$

При тривалій експлуатації повітряних ліній електропередачі зменшення діаметра проводів ліній приводить до зменшення їхньої механічної міцності. На рис. 4 показаний характер зміни граничного розривного зусилля R_{π} в часі у відносних одиницях від впливу корозії на проводи, припустивши, що щорічне зменшення діаметра алюмінієвого проводу становить 2-8 мкм

$$R_{\pi} = \frac{\pi(d - \Delta d)^2 \sigma}{4}, \quad (10)$$

де σ – механічна напруга в проводі.

Забезпечення необхідної механічної міцності проводів, можливо досягти одним із зазначених нижче методів або їхньою комбінацією:

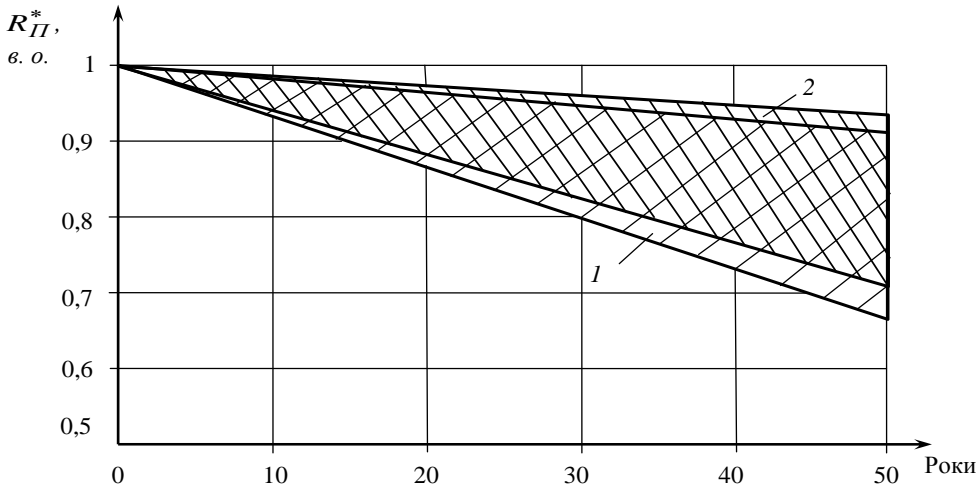


Рис. 4 Характер зміни граничного розривного зусилля проводу в часі від дії корозії:
зона 1 – провід А 25; зона 2 – провід А 35

строїв або систем, що забезпечують звільнення проводів від ожеледі до моменту виникнення критичних навантажень.

Бортові кар'єрні повітряні ЛЕП розташовані, як правило, на границі (борті) кар'єрів та відвалів мають "сприятливі" умови з погляду утворення ожеледі та формування вітрових навантажень на проводи. Для таких мереж з метою боротьби з понад припустимими відкладеннями ожеледі та забезпеченням механічної стійкості проводів до впливу кліматичних факторів теоретично обгрунтована рекомендація зменшення довжини прольоту живильних кар'єрних повітряних ліній на 10 ... 30 % стосовно нормативних прольотів для заданої кліматичної зони.

Використовуючи поняття відносної довжини прольоту $l'_* = \frac{l'}{l}$ і відносної меха-

нічної напруги в проводі $\sigma_* = \frac{\sigma'}{\sigma_{кр}}$ повітряної лінії, отримано залежність впливу обраної довжини прольоту ЛЕП на припустиме значення механічної напруги в проводі

$$\sigma_* = \frac{1}{(l'_*)^2}. \quad (11)$$

Наведений на рис. 5 графік, побудований за виразом (11), показує, що тільки зменшення довжини прольоту повітряної лінії призводить до істотного підвищення механічної міцності проводів повітряних ЛЕП за інших рівних умов. Так, наприклад, при зменшенні довжини прольоту у два рази – механічна міцність (стійкість) зростає в чотири рази. Для рекомендованих зменшень довжини прольоту в межах 10 ...

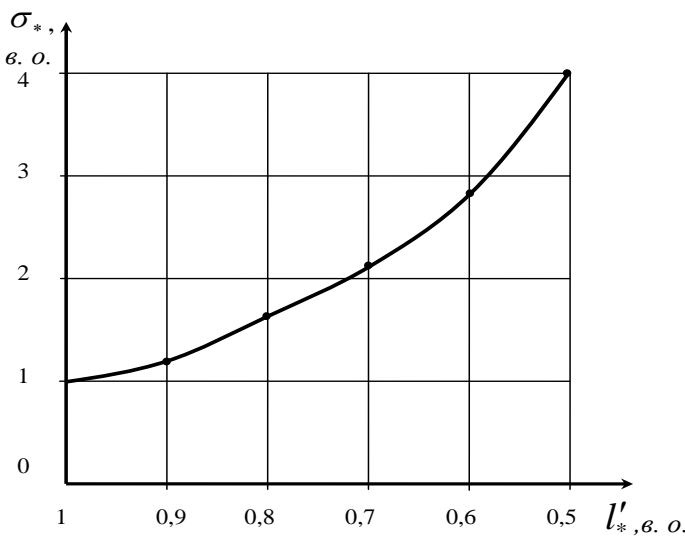


Рис. 5. Графік залежності запасу механічної міцності проводу ПЛ від довжини прольоту

– збільшенням мінімально припустимого (за механічною міцністю) перерізу проводів повітряних ліній;

– зменшенням довжини прольотів повітряних ЛЕП у порівнянні з нормативним значенням при незмінних характеристиках проводів і кліматичних умов;

– впровадження технічних при-

30 %, запас міцності повітряних ліній збільшується в 1,23 ... 2,04 рази.

Реалізувати зменшення довжини прольоту відповідно до викладеної рекомендації можливо тільки там, де у зв'язку з аварією були зруйновані або ушкоджені опори на великій ділянці, а також при проектуванні та монтажі нових ліній електропередач.

У **четвертому розділі** надане теоретичне обґрунтування можливості використання захисного вимикання при обриві провoda та представлено принципи дії, алгоритми і варіанти реалізації пристроїв захисту та захисного вимикання для кар'єрних розподільних і тягових мереж. Показано, що у випадку контролю моменту обриву провoda повітряної лінії, принцип захисного вимикання дозволяє знеструмити аварійну ділянку до моменту дотику провoda землі, що виключає аварійний режим у системі електропостачання та запобігає подальшому розвитку аварії.

Для виявлення обриву фазного провoda повітряної ЛЕП використовується явище знеструмлення пошкодженої фази. З метою забезпечення виконання вимоги надійності дії пристрою захисного вимикання при обриві фазного провoda логічний блок пристрою (рис. 6) відповідно до розробленого алгоритму, аналізує наступні можливі причини короткочасної відсутності робочих струмів в одній з фаз у контрольованій лінії: обрив провoda однієї фази ЛЕП; одночасний обрив провoda

двох фаз ЛЕП; несиметричне вимикання лінії силовим вимикачем (різночасність розмикання контактів); несиметричне ввімкнення навантаженої лінії (різночасність замикання контактів); неповнофазний режим розподільної мережі. Реалізація індивідуального пристрою (для одного під'єднання) виконана на основі мікросхеми К561ЛА7. Також розроблена

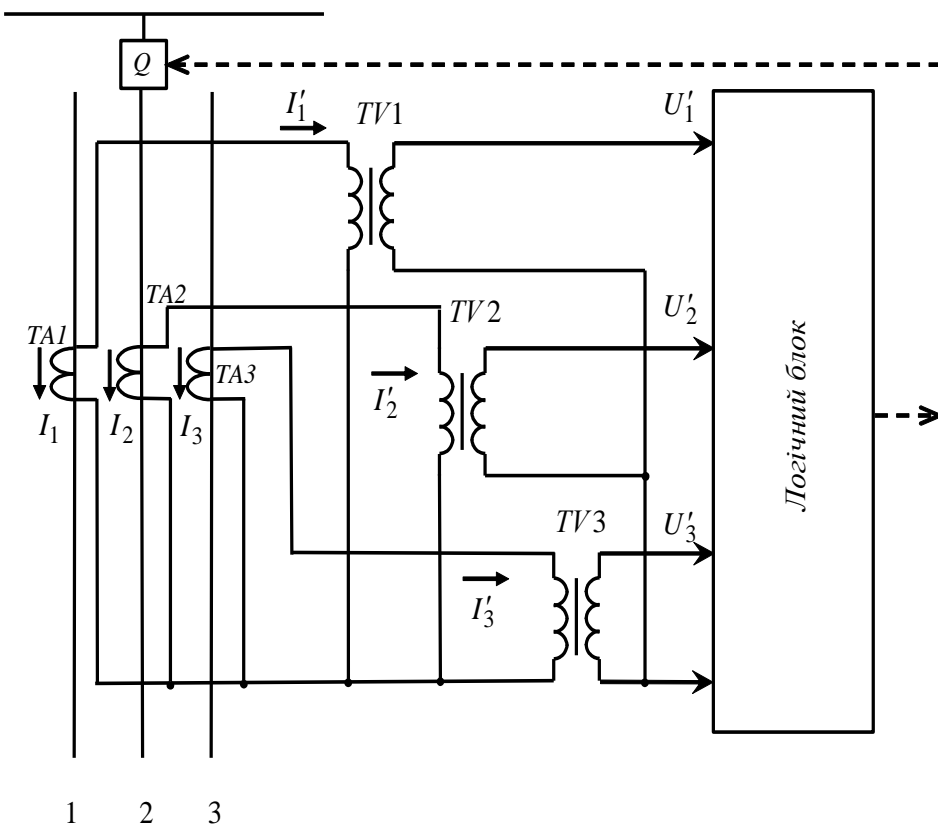


Рис. 6. Функціональна схема пристрою захисного відключення ЛЕП при обриві фазного провoda

дозволяє контролювати кілька ліній (для секції підстанції) і впливати на комутаційні апарати відповідних ЛЕП.

Для захисту тягових мереж змінного струму внутрішньокар'єрного електровозного транспорту від аварійних режимів, що виникають при обриві контактного проводу, запропоновано виконання захисту, що ґрунтуються на контролі і порівнянні значень струму на рухливому составі та на тяговій підстанції. Стосовно до тягової кар'єрної мережі реалізація струмового диференціального захисту можлива тільки при контролі і порівнянні струму в лінії, що живить ділянку тягової мережі і струму, що споживає електровоз, вимірюючи останній після струмознімача. Нерівність зазначених струмів буде свідчити про появу аварійного режиму в мережі, наприклад, короткого замикання на ділянці тягової мережі, замикання на землю контакт-ного проводу тощо.

Ознака зникнення робочого струму в контактному проводі для реалізації принципу захисного вимикання при обриві контакт-ного проводу не може бути використана у тяговій мережі. Це пов'язано з тим, що в секціонованій тяговій мережі кар'єру можлива відсутність струму при переході електровоза на іншу секцію або тимчасовий відрив пантографа. Особливо такий режим роботи ймовірний при знаходженні на ділянці (секції) одного електровоза, що характерно для кар'єрних тягових мереж. Для контролю обриву або цілісності контакт-ного проводу тягової мережі, для нерозгалужених кар'єрних тягових мереж, запропоновано використовувати накладений на тягову мережу оперативний синусоїдний струм непромислової частоти.

Для створення оперативного і контрольованого синусоїдного струму контрольованої ділянки, в кінці тягової мережі необхідно підімкнути навантажувальну ємність, що забезпечує значення оперативного струму більшого ніж повний оперативний струм через ізоляцію тягової мережі щодо землі. Зникнення (або різке зменшення) оперативного струму на початку тягової мережі свідчить про порушення цілісності, тобто обриві контакт-ного проводу. Основним елементом системи захисного вимикання кар'єрної тягової мережі є пристрій контролю, що забезпечує якість виміру оперативного сигналу, виконання логічних операцій і формування керуючої команди.

Результати випробувань макетів пристроїв захисного вимикання підтвердили працездатність запропонованих методів і способів випереджального захисного вимикання.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена важлива науково-практична задача, яка полягає в обґрунтуванні і розробці методів підвищення надійності повітряних ліній і створенні пристроїв випереджального вимикання та захисту при обриві проводів в кар'єрних розподільних і тягових мережах для забезпечення умов безпеки та ефективності систем електропостачання кар'єрів.

Основні наукові результати, висновки і практичні рекомендації дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. При реальному погіршенні кліматичних умов в Україні утворення ожеледі, мокро-го снігу та інею на проводах становить велику загрозу для нормальної роботи повітряних ліній електропередач, тому що викликає значне їх механічне

перевантаження, зближення, інтенсивні коливання, короткі замикання, перегорання і обриви проводів. Найбільш часте ушкодження повітряних ліній має місце при значному механічному навантаженні ожеледі та вітру, з загальною кількістю відмов понад половини, становлять відмови через надмірні навантаження ожеледі та вітру, які супроводжуються великим обсягом ушкоджень та витратами значного часу на відновлення. Також встановлена залежність впливу корозії на провід при тривалій експлуатації, що призводить до зменшення механічної міцності проводів кар'єрних мереж.

2. Обрив провода однієї з фаз повітряної ЛЕП у кар'єрних розподільних мережах характеризується переходом аварійного режиму при торканні обірваного провода землі в нетипові однофазні замикання на землю, а саме: замикання на землю з боку електроприймача (торкання землі провода, пов'язаним тільки зі споживачем) і замикання однієї фази на землю у двох місцях одночасно, з боку джерела та з боку електроприймача. Значення аварійних струмів при однофазних замиканнях на землю внаслідок обриву фазного провода в загальному випадку визначаються рівнем напруги мережі, параметрами ізоляції (ємністю і активним опором) мережі відносно землі та особливостями аварійного режиму.

3. При замиканнях фази на землю з боку електроприймача діюче значення напруги зсуву нейтралі (напруги нульової послідовності), враховуючи значення індуктивності (обмоток) кар'єрних електроприймачів напругою вище 1000 В (трансформатори й приводні електродвигуни), більш ніж удвічі менше значення напруги зсуву нейтралі при класичному виді замикання на землю при тих же параметрах мережі. Вектор напруги нульової послідовності збігається з напрямком вектора напруги ушкодженої фази, тобто зсувається на 180° у порівнянні з вектором напруги нульової послідовності відповідному до класичного виду замикання на землю. Це призводить до неспрацювання штатних пристроїв захисту та дозволило обґрунтувати спосіб захисного (випереджаючого) вимикання.

4. У кар'єрних тягових мережах аварійні режими, викликані обривом контактного проводу, характеризуються появою коротких замикань (торкання рейки або корпусу думпкара), замикань на ґрунт, а також замикань на мережу заземлення кар'єру внаслідок торкання обірваним контактним проводом корпусу заземленого технологічного устаткування, супроводжуються появою небезпечних значень аварійних струмів, потенціалів і крокової напруги, що позначається на надійності елементів тягової мережі і умовах електробезпеки, особливо при можливому неспрацюванні в таких режимах штатних пристроїв захисту.

5. Торкання обірваного провода (розподільної або тягової мережі) заземленого корпусу електроустаткування або технологічних машин становить особливу небезпеку з погляду ураження людей електричним струмом за рахунок появи на корпусах потенціалів значно перевищуючих припустимі рівні, особливо для тягової мережі напругою 10 кВ. Небезпечні потенціали з'являються на корпусах машин і установок з'єднаних з центральним контуром заземлення та віддалених від місця аварії на значні відстані.

6. Найбільш ефективним шляхом підвищення надійності повітряних ліній електропередач є приведення розрахункових положень до реальних умов, і це обумовлено тим, що утворення ожеледі на проводах, а також тиск вітру значно

перевищують нормативні значення. Забезпечення необхідної механічної міцності проводів можливо досягти одним із зазначених методів або їх комбінацією: збільшенням мінімально припустимого перетину проводів повітряних ліній; впровадженням технічних пристроїв або систем, що забезпечують звільнення проводів від ожеледі до моменту виникнення критичних навантажень; зменшення довжини прольоту на 10 ... 30 % відносно з нормативним значенням прольотів для заданої кліматичної зони, що дозволяє збільшити запас міцності проводів повітряних ліній відповідно в 1,23 ... 2,0 рази.

7. Для виключення появи в кар'єрних розподільних і тягових мережах аварійних режимів пов'язаних з обривом фазного проводу повітряної ЛЕП або контактного проводу і запобігання подальшого розвитку аварії пропонується використовувати принцип захисного (випереджального) вимикання. Зазначений захід при відповідній його реалізації здатний запобігти появі режиму замикання на землю при обриві проводу за рахунок вимикання лінії від джерела живлення до моменту торкання обірваним проводом землі. Запропоновані варіанти технічної реалізації пристроїв захисного вимикання на базі дискретних електронних елементів і сучасних мікроконтролерів.

8. Для контролю обриву або цілісності контактного проводу кар'єрної тягової мережі змінного або постійного струму пропонується для нерозгалужених кар'єрних тягових мереж використовувати накладення на тягову мережу і контроль значення оперативного синусоїдного струму непромислової частоти. Для захисту тягових мереж змінного струму внутрішньокар'єрного електровозного транспорту від аварійних режимів, що виникають при обриві контактного проводу, рекомендований диференціальний принцип виконання захисту, який дозволяє забезпечити чутливий захист тягової мережі від коротких замикань і замикання на землю в результаті обриву контактного проводу незалежно від режимів роботи електровозів і їх кількості в зоні захисту.

9. Реалізація та впровадження розроблених методів підвищення механічної стійкості і пристроїв захисту та випереджального вимикання кар'єрних повітряних розподільних і тягових мереж дозволить поліпшити умови електробезпеки та підвищити надійність живлення кар'єрних електроприймачів, а також одержати економічний ефект за рахунок зменшення збитку від простоїв гірничо-технологічного встаткування і витрат на відновлення мереж.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шкрабец Ф.П. Повышение безаварийности и уровня безопасности электрических сетей карьеров: моногр. / Ф.П. Шкрабец, А.Н. Гребенюк, А.И. Ковалев – Д: Національний гірничий університет, 2011. – 233 с.

2. Кігель Г.А. Аналіз методів зняття ожеледі з проводів повітряних ліній електропередачі / Г.А. Кігель, А.М. Гребенюк // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2003. – №. 69. – С. 51 – 56.

3. Гребенюк А.Н. Особенности эксплуатации линий электропередачи в сложных погодных условиях / А.Н. Гребенюк // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2003. – №71. – С. 21 – 24.

4. Гребенюк А.Н. Учет влияния климатических условий на длину пролета ЛЭП / А.Н. Гребенюк // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2004. № 72. – С. 18 – 22.

5. Шкрабец Ф.П. Защитное отключение при обрыве провода воздушной электрической сети / Ф.П. Шкрабец, А.Н. Гребенюк // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2005. – № 75. – С. 44 – 47.

6. Гребенюк А.Н. Взаимосвязь между механическими напряжениями проводов и геометрическими размерами линии электропередач / А.Н. Гребенюк // зб. наук. праць НГУ, том 1: наук. техн. зб. – 2006. – № 26. – С. 194 – 198.

7. Гребенюк А.Н. Влияние метеорологических факторов на работу контактной сети / А.Н. Гребенюк // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2006. – № 77. – С. 45 – 49.

8. Гребенюк А.Н. Промышленная контактная сеть и способ защиты от обрывов и коротких замыканий / А.Н. Гребенюк // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2007. – № 79. – С. 32 – 35.

9. Гребенюк А.М. Вплив корозії на механічні параметри повітряних ліній електропередач / А.М. Гребенюк // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2007. – № 80. – С. 27 – 30.

10. Шкрабец Ф.П. Защитное отключение при обрыве контактного провода в системе электроснабжения железнодорожного транспорта / Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук, А.Н. Гребенюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Вип. 20, – 2008, – С. 76 – 77.

11. Шкрабець Ф.П. Система контролю цілісності контактного проводу залізничного транспорту / Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук, А.М. Гребенюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 27, – 2009, – С. 114 – 115.

12. Гребенюк А.Н. Повреждение проводов ЛЭП при воздействии ветровой нагрузки / А.Н. Гребенюк, Е.Д. Герман, О.Ю. Панасюк // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. техн. зб. – 2009. – № 83. – С. 46 – 49.

13. Автоматизированная система диагностики и управления распределительными устройствами карьеров / А.В. Остапчук, А.Н. Гребенюк, А.А. Дворников // Міжнар. наук.-практ. конф. //Наука і освіта –2003. Дніпропетровськ – Кривий Ріг. Том 27. – С. 27-29.

14. Защитное отключение при обрыве контактного провода в системе электроснабжения железнодорожного транспорта / Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук, А.Н. Гребенюк // Тезиси I міжнарод. наук.-практ. конф. "Електрифікація залізничного транспорту ТРАНСЕЛЕКТРО-2007". –Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – С. 72-73.

15. Влияние коррозии на электрические и механические параметры линии электропередач / Ф.П. Шкрабец, А.Н. Гребенюк, П.Ю. Красовский // VI Міжнар. наук.-техніч. конф. "Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств" EPQ 2008. зб. праць м. Маріуполь. – С. 201-203.

16. Защита промышленной тяговой сети переменного тока от коротких замыканий контактного провода / А.Н. Гребенюк // Материалы Восьмой ежегодной междунар. пром. конф., 2008, п. Славское, Карпаты. – С. 75-76.

17. Система контролю цілісності контактного проводу залізничного транспорту / Ф.П. Шкрабец, А.В. Остапчук, А.Н. Гребенюк // Матералы II междунар. наук.-практ. конф. "Електрифікація залізничного транспорту ТРАНСЕЛЕКТРО-2008". – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – С. 67.

Особистий внесок здобувача в роботах, що опубліковані у співавторстві полягає: робота [1] – написання розділів 1, 2, 4, 6 монографії; робота [2] – збір даних про пошкодження повітряних ліній електропередач; робота [5, 10, 14] – розробка принципів схем пристрою захисного відключення при обриві проводу; робота [11, 17] – розробка функціональної схеми та фільтруючого елемента; робота [12] – постановка задачі з впливу вітрової загрузки на проводу; робота [13] – виконано аналіз сучасного стану засобів управління та захисту розподільчих пристроїв, робота.

Анотація

Гребенюк А.М. Методи та пристрої захисту при обриві проводів кар'єрних розподільних і тягових мереж. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - "Електротехнічні комплекси і системи". Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Дніпропетровськ, 2012.

У дисертації вирішено важливе наукове завдання, що полягає в обґрунтуванні та розробці методів підвищення надійності повітряних ліній і створенні пристроїв випереджального вимикання та захисту при обриві проводу в кар'єрних розподільних і тягових мережах для забезпечення умов безпеки і ефективності систем електропостачання кар'єрів.

Розглянуто основні види замикань на землю і обґрунтована можливість неспрацьовування штатних систем захисту при обриві проводу і замиканні з боку електроприймача для повітряних ЛЕП кар'єрів. Розроблено методи розрахунку струмів аварійного режиму, а також струмів і напруг нульової послідовності при нетипових видах замикання на землю для мереж з ізольованою, компенсованою та резистивно заземленою нейтраллю.

Виконано оцінку впливу метеорологічних факторів на надійність повітряних розподільних ЛЕП і тягових мереж кар'єрів. При цьому зроблений аналіз впливу корозії алюмінієвих проводів на механічну стійкість самого проводу і розподільної мережі кар'єрів напругою 6(10) – 35 кВ.

Розроблено методи та способи (випереджального) захисного вимикання повітряної розподільної лінії і тягової мережі при обриві проводу до моменту торкання ним землі або заземленого технологічного устаткування. Це забезпечує необхідну електробезпеку у мережі і запобігає подальшому розвитку аварії, що характеризується виникненням подвійних замикань і тривалих простоїв устаткування та значних економічних втрат.

Ключові слова: розподільна електрична мережа, тягова мережа кар'єрів, механічна міцність провода, надійність повітряних ЛЕП.

Аннотація

Гребенюк А.Н. Методы и устройства защиты при обрыве проводов карьерных распределительных и тяговых сетей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – "Электротехнические комплексы и системы". – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет» Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Днепропетровск, 2012.

В диссертации решена важная научно-практическая задача, заключающаяся в обосновании и разработке методов повышения надежности воздушных линий и создании устройств опережающего отключения и защиты при обрыве провода в карьерных распределительных и тяговых сетях для обеспечения условий безопасности и эффективности систем электроснабжения карьеров.

Отмеченные достаточно жесткие условия эксплуатации систем электроснабжения карьеров определяют высокую повреждаемость распределительных и тяговых сетей и оборудования. Основные повреждения в распределительных сетях связаны с нарушением изоляции фаз сети относительно земли.

Выполнен анализ данных о повреждениях воздушных ЛЭП карьеров, что позволило определить наиболее весомые причины повреждения всех конструктивных элементов воздушных ЛЭП карьеров, из которых атмосферные причины являются основными.

Также рассмотрены условия эксплуатации контактных сетей железнодорожного транспорта карьеров, которые усложняются в связи с наличием постоянных и передвижных путей, а также наличием зон погрузки, где контактная сеть выполняется смещенной для обеспечения работы погрузочного экскаватора.

Рассмотрены основные виды замыканий на землю и обоснована возможность не срабатывания штатных систем защиты при обрыве провода и замыкании со стороны электроприемника для воздушных ЛЭП карьеров. Разработаны методы расчета токов аварийных режимов, а также токов и напряжений нулевой последовательности при нестандартных видах замыкания на землю для сетей с изолированной, компенсированной или резистивно заземленной нейтралью.

Выполненные исследования и сравнительная оценка характера изменения амплитудных и фазовых значений аварийных токов, а также напряжения и токов нулевой последовательности при повреждениях со стороны электроприемника в зависимости от параметров распределительной сети и переходных сопротивлений в месте повреждения, показали, что полученные результаты представляют интерес с точки зрения оценки работоспособности существующих устройств защиты от несимметричных повреждений и необходимы при разработке новых принципов и устройств защиты.

Также рассмотрено влияние метеорологических факторов на надежность воздушных распределительных ЛЭП и тяговых сетей карьеров. При этом произведен анализ влияния коррозии алюминиевых проводов на механическую стой-

кость самого провода и распределительной сети карьеров напряжением 6(10) – 35 кВ.

Установлен характер изменения предельного разрывного усилия во времени в относительных единицах от воздействия коррозии на провод при продолжительной эксплуатации воздушных линий электропередач за счет уменьшения суммарного диаметра проводов линий, что приводит к уменьшению механической прочности проводов карьерных сетей.

Разработаны методы и способы защитного (опережающего) отключения воздушной распределительной линии и тяговой сети при обрыве провода до момента касания им земли или заземленного технологического оборудования. Обоснован дифференциальный принцип выполнения защит тяговых сетей переменного тока внутрикарьерного электровозного транспорта от аварийных режимов, возникающих при обрыве контактного провода, сравнивающий ток питающей подстанции с токами потребляемыми электровозами, находящимися на данной секции.

Данная защита обеспечивает необходимую электробезопасность и предотвращает дальнейшее развитие аварии, которые приводят к двойным замыканиям в сети, продолжительным простоям оборудования и значительным экономическим потерям.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, тяговая сеть карьеров, механическая прочность провода, надежность воздушных ЛЭП.

Abstract

Grebeniuk Andrii. Devices and principles for protection of wire breakages in distribution and traction supply mains. – On the right of manuscript.

Thesis for degree of candidate of technical sciences in specialty 05.09.03 – “Electrical engineering complexes and systems”. State institution of higher education “National Mining University” subject to the Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, Dnipropetrovs’k, 2012.

The thesis is devoted to development of principles for air supply mains reliability improvement. The devices of preceding cutoff in open pit’s safety facilities and electric supply efficiency context are developed.

Typical ground shorts are considered, probable standard protection system fault under wire breakage or air mains electric power consumer short is proven. Methods for calculation of short circuit currents and zero sequence currents and voltages under specific ground shorts in isolated neutral mains and mains with compensators or resistors in neutrals are developed.

Meteorological factors influence on open pits’ air distribution mains and traction mains is considered. Aluminium wires’ corrosion and its mechanical strength in distribution networks with 6(10) – 35 kV rated voltage is considered.

Methods and principles of preceding cutoff for air distribution mains are developed for case of wire breakage. Methods provide wire’s cutoff before its touchdown of the ground or grounded electric equipment. Thus electric safety improves and further emergency extension, equipment faults and economical losses are prevented.

Key words: distribution electric supply mains, open pit's traction mains, wire's mechanical strength, air mains reliability.

Гребенюк Андрій Миколайович

**МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ ЗАХИСТУ ПРИ ОБРИВІ ПРОВІДІВ
КАР'ЄРНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ І ТЯГОВИХ МЕРЕЖ**

(Автореферат)

Підписано до друку 14.02.2012. Формат 60x90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 110 пр. Зам. №

Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.