

В. О. ДЬЯКОВ¹ (ДНУЗТ), А. В. АНТОНОВ² (ДНУЗТ), С. Ю. МАЛИНКА³ (ДНУЗТ)^{1,3}Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25²Каф. «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, ел. пошта a.v.antonov91@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0001-5701-6087**ЗАХИСТ НЕЙТРАЛЬНИХ ВСТАВОК КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ ВІД ПЕРЕПАЛІВ****Вступ**

При модернізації залізничного транспорту України, як і раніше, провідну роль грає електрифікація залізниць.

За станом на 01 січня 2016 року доля електричної тяги в експлуатаційній роботі залізничного транспорту України склала 91,5 %. Експлуатаційна довжина електрифікованих залізниць склала 9403 км, що відповідає 48 % загальної протяжності залізниць України. На сьогодні, Україна займає 10 місце в світі за протяжністю електрифікованих залізниць.

Перша електрифікована ділянка магістральних залізниць на території сучасної України була запущена в експлуатацію 5 листопада 1935 року (ділянка Долгінцево – Запоріжжя). В перші роки електрифікація залізниць проводилась на постійному струмі. Електрифікація на змінному струмі почалась на початку 60-х років минулого століття. На сьогодні, електрифікація залізниць на теренах України відбувається, як і в усьому світі, переважно на змінному струмі. На 01 січня 2016 року розгорнута довжина контактної мережі змінного струму становила 14384 км, а постійного струму – 11018 км.

Мета

Метою даної статті є аналіз причин перепалів проводів контактної мережі на нейтральних вставках.

Актуальність

Актуальність даної роботи обумовлена тим, що при перепалах проводів контактних підвісок на нейтральних вставках відбувається розрегулювання контактної мережі на суміжних анкерних ділянках. Крім того, при перепалах та обриві проводів контактної підвіски відбувається пошкодження струмоприймачів та іншого дахового обладнання електрорухомого складу (ЕРС), що призводить до значних витрат часу на відновлення та тривалих затримок поїздів.

Методика

Особливістю системи електропостачання однофазного змінного струму є те, що електрична енергія в контактну мережу поступає від двох фаз (наприклад А та В), а повертається на тягову підстанцію по рейковій мережі до фази С. В зв'язку з цим, біля тягових підстанцій для електричного розділення суміжних секцій, які отримують живлення від різних фаз, монтують два ізолюючих спряження з нейтральною вставкою (рис. 1) для попередження міжфазного короткого замикання через полоз струмоприймача, який проходить по ізолюючому спряженні.

Нейтральні вставки використовують також при електричному розділенні ділянок контактної мережі, які отримують живлення напругою різного роду струму (наприклад, ділянки Харків – Купянськ, Харків – Полтава та інші).

Довжина нейтральної вставки повинна бути більшою ніж відстань між крайніми струмоприймачами ЕРС. Для виключення перепалів контактних проводів ЕРС під нейтральною вставкою проходить по інерції (на вибізі), нейтральна вставка повинна бути обладнана сигнальними знаками (рис. 2).

Конструкція та місце розташування нейтральної вставки повинні забезпечувати безупинний прохід ЕРС при швидкості проходу сигнального знаку «відключити струм», який огорожує нейтральну вставку, не менше 20 км/год.

Для попередження перепалів контактних проводів на нейтральній вставці, в місці де відбувається відрив струмоприймача від контактного проводу, який йде на анкерування, монтують дугостійку конструкцію. На ділянках швидкісного руху поїздів (160-200 км/год) нейтральні вставки в місцях розділення фаз чи стикування електротяги постійного та змінного струму повинні бути обладнані пристроями для автоматичного відключення тягового струму ЕРС.

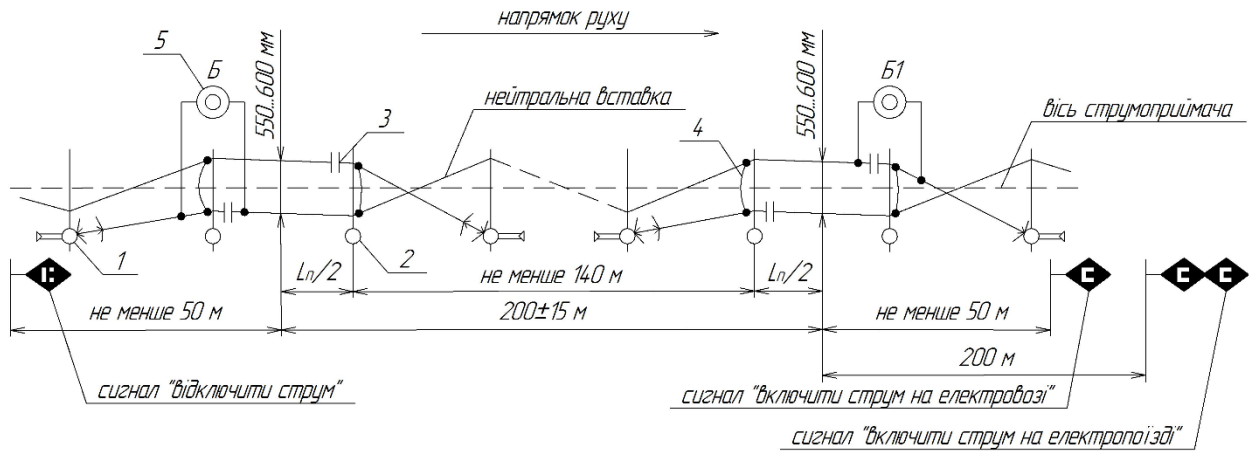


Рис. 1. Схема спряження анкерних ділянок з нейтральною вставкою для моторвагонної тяги: 1 – анкерна опора; 2 – перехідна опора; 3 – врізні ізолятори; 4 – поперечний електричний з'єднувач; 5 – нормально відключений секційний роз'єднувач з моторним приводом; L_p – довжина прогону між перехідними опорами



Рис. 2. Попереджувальні сигнальні знаки: а) «відключити струм»; б) «ввімкнути струм на електропоїзді»; в) «ввімкнути струм на електропоїзді»

Для виведення ЕРС з-під нейтральної вставки, при його вимушеній зупинці, на неї тимчасово подають напругу. Для цього включають нормально відключений секційний роз'єднувач (див. рис. 1). Причому, вмикають той роз'єднувач, який подає напругу з тієї секції, в сторону якої рухається поїзд.

В перші роки експлуатації на електрифікованих залізницях України (2012-2013 роках) електропоїздів компанії Hyundai на нейтральних вставках відбувалися перепаляння контактних проводів. Однією з причин перепадів контактних проводів могли бути помилкові дії машиністів електропоїздів, які під'їжаючи до знаку «відключити струм» (рис.3) не виконували вимоги до порядку проходження електропоїздами нейтральних вставок. Відповідно до цих вимог машиніст повинен встановлювати головну рукоятку контролеру в нульове положення та відключати високовольтний вимикач.

Відповідно до вимог [5], машиністи електропоїздів повинні знати місце розташування нейтральної вставки та заздалегідь готуватися до її проходження: зарядити тормозну магістраль, розвинути необхідну швидкість руху для безупинного проїзду нейтральної вставки всім електропоїздом. Під'їжаючи до знаку «відключити струм», машиніст повинен встановлювати

головну рукоятку контролеру в нульове положення та відключити високовольтний вимикач. Навіть якщо при проходженні нейтральної вставки буде відсутнє тягове навантаження, а живлення нетягових споживачів збережеться (вентилятори, компресори, освітлення, опалення, кондиціонування та інше), можливий пробій повітряних проміжків та їх іонізація. Це підтверджують сліди оплавлення контактних проводів на нейтральних вставках (рис. 4 та рис. 5).



Рис. 3. Попереджувальний знак «відключити струм»



Рис. 4. Стан контактної провуду струмоведучого елемента на першому ізолюючому спряженні нейтральної вставки



Рис. 5. Стан контактної провуду нейтрального елемента на першому ізолюючому спряженні нейтральної вставки

Існуюча ситуація ускладнюється ще й тим, що електропоїзди компанії Hyundai можуть прослідувати нейтральну вставку зі швидкістю 160 км/год (45 м/с).

В результаті, безструмова пауза на першому (по ходу руху) повітряному проміжку (рис. 6) може тривати всього 0,8 с, що недостатньо для деіонізації повітряного проміжку. При шунтуванні струмоприймачем другого повітряного проміжку можливе перепалювання контактної провуду. Окрім того, при проходженні електропоїздом нейтральної вставки зі швидкістю 160 км/год, суттєво скорочується довжина безструмової паузи через збільшення сили натиску струмоприймача на контактний провід.

$$P = P_{CT} + P_1 + P_a, \quad (1)$$

де P_{CT} – статична складова сили натиску струмоприймача ($P_{CT} = 80 \dots 120$ Н);

P_1 – інерційна складова сили натиску струмоприймача;

P_a – аеродинамічна складова сили натиску струмоприймача.

$$P_1 = m_T \cdot a, \quad (2)$$

де m_T – приведена маса струмоприймача;

a – прискорення, яке отримується приведеною масою струмоприймача.

$$P_a = V_T^2 \cdot C_x, \quad (3)$$

де V_T – швидкість зустрічного потоку повітря;

C_x – аеродинамічний коефіцієнт лобового опору рухомих рам та полозів струмоприймача.

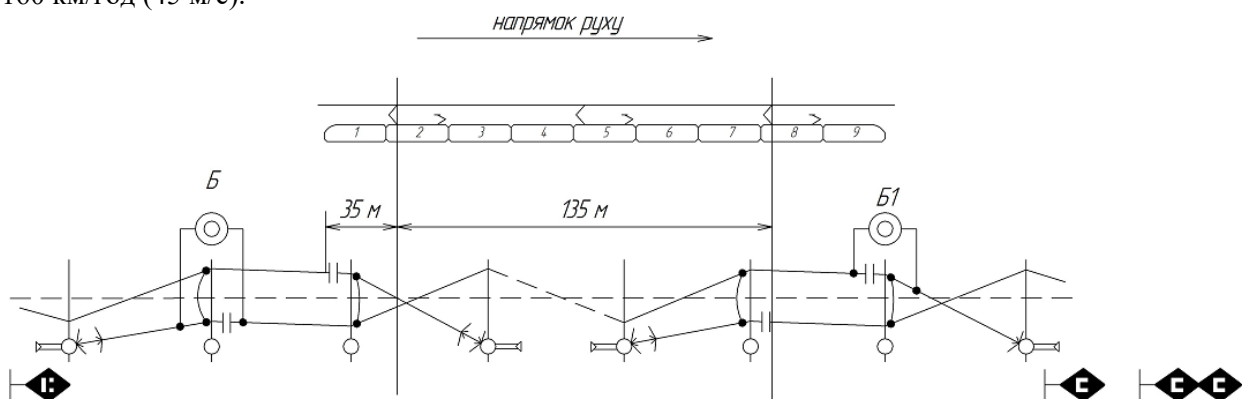


Рис. 6. Схема розміщення електропоїзда на нейтральній вставці

При швидкості 160 км/год суттєво збільшується аеродинамічна та інерційна складова натиску струмоприймача. В результаті, відрив струмо-

приймача від контактної провуду може відбуватися поблизу врізного ізолятора на першому ізолюючому спряженні (див. рис.6) та підтискання

контактного проводу нейтральної вставки струмоприймачем на другому ізолюючому спряженні до струмоведучого контактному проводу також може відбуватися поблизу врізного ізолятора. Це суттєво зменшує довжину нейтральної вставки, скорочує час деіонізації повітряного проміжку на першому ізолюючому спряженні, що підвищує вірогідність перепалів контактних проводів на нейтральних вставках в випадку відсутності розриву електричного ланцюга високовольтним вимикачем електропоїзда.

Те, що тривалість безструмової паузи суттєво впливає на діелектричні властивості повітряних проміжків підтверджують дослідження, проведені в високовольтній лабораторії кафедри «Електропостачання залізниць» (рис. 7).

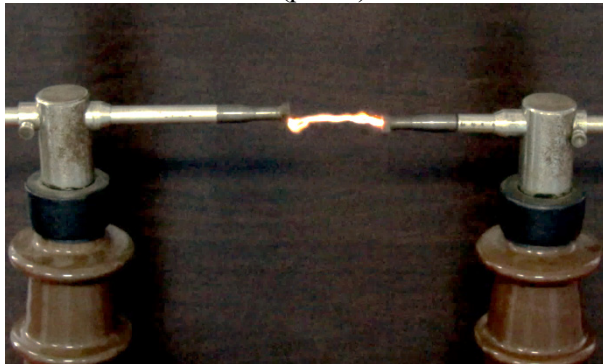


Рис. 7. Високовольтні випробування

Залежність пробивної напруги в міжелектродного проміжку «стержень-стержень» (імітація повітряного проміжку між контактними проводами на ізолюючому спряженні) від інтервалу між повторними випробуваннями (n) приведена на рис. 8.

Результати досліджень показали, що навіть при струмах менше 10 мА, які протікали в міжелектродному проміжку під час його пробою, діелектричні властивості повітряного проміжку не відновлювались при інтервалі часу в 7 с (крива 2), діелектрична міцність проміжку зменшувалась, а при інтервалі часу в 60 с (крива 1) деіонізація повітряного проміжку встигала відбутися і пробивна напруга не змінювалась.

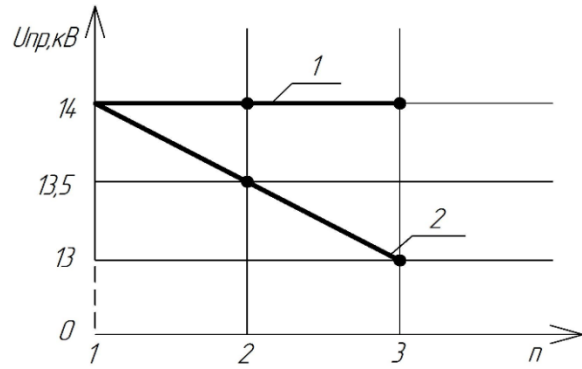


Рис. 8. Пробивна напруга

Узагальнюючи вищесказане, можна зробити висновок, що основною причиною перепалів контактних проводів на нейтральних вставках є те, що електропоїзди по них проходять без відключення високовольтного вимикача. В цьому випадку, для попередження перепалів контактних проводів на нейтральних вставках в випадках проходження по них електропоїздів без відключення струму можна використовувати:

- використання дугостійких систем (конструкцій);
- використовувати пристрої, які забезпечують автоматичне відключення тягового струму ЕРС при проходженні нейтральної вставки;
- використання чотирипрогонних ізолюючих спряжень, замість трипрогонних, дозволить зменшити кут нахилу контактних проводів, що відходять на анкерування (зменшення інерційної складової натиску струмоприймача);
- встановлення секційних ізоляторів на нейтральній вставці (рис. 9).

Для зменшення об'єму пошкоджень контактної мережі та дахового обладнання ЕРС на нейтральних вставках можна використовувати барабанні компенсатори з храповим колесом (див. рис. 10), яке при обриві компенсованого проводу стопорить барабан і подальше руйнування контактної підвіски та дахового обладнання ЕРС не відбудеться.

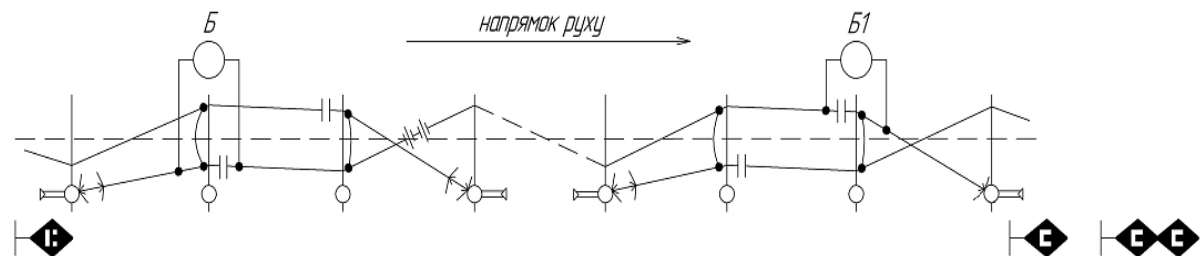


Рис. 9. Встановлення секційних ізоляторів на нейтральній вставці

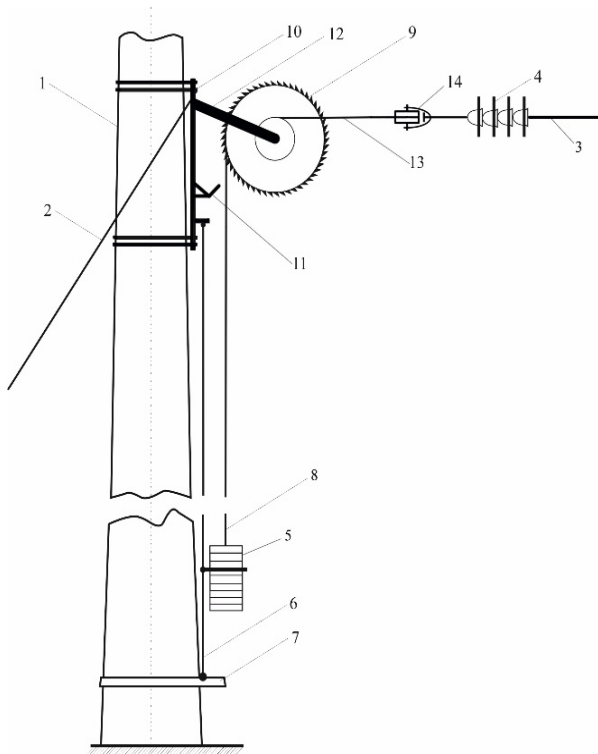


Рис. 10. Барабанний компенсатор з храповим колесом: 1 – анкерна опора; 2 – відтяжка; 3 – контактний провід (несучий трос); 4 – гірлянда ізоляторів; 5 – вантажі; 6 – трос обмежування розгойдування вантажів; 7 – кронштейн обмежувача розгойдування вантажів; 8 – трос компенсатора; 9 – компенсатор; 10 – кронштейн; 11 – стопор; 12 – рама; 13 – трос, запакований з однієї сторони на малі барабани храпового колеса; 14 – кінцевий захват, з'єднаний з рухомим блоком

Використовуючи закордонний досвід для попередження перепалів контактних проводів, можна замість нейтральних вставок використовувати струморозділення. На рис. 11 показаний такий тип струморозділення, воно виконане на переїзді, де експлуатується негабаритний автомобільний транспорт. В цьому випадку можна повністю виключити перепали контактних проводів при електричному розділенні суміжних секцій контактної мережі, які отримують живлення від різних фаз чи напругою різного роду струму.

Для зменшення об'єму пошкоджень контактної мережі та дахового обладнання ЕРС на нейтральних вставках необхідно використовувати барабанні компенсатори з храповим колесом (рис. 10), яке при обриві компенсованого проводу стопорить барабан і подальше руйнування контактної підвіски та дахового обладнання ЕРС не відбувається.



Рис. 11. Прохід електровозом зони струморозділення над переїздом: а) момент опускання струмоприймача; б) прохід переїзду; в) момент піднімання струмоприймача

Наукова новизна та практична значимість

Приводиться обґрунтування можливих причин перепалів проводів контактних підвісок на нейтральних вставках та пропонуються організаційні та технічні заходи, які дозволяють уникнути пошкоджень контактної мережі та обладнання ЕРС.

Підвищення надійності роботи нейтральних вставок дозволить скоротити збитки, які викликані пошкодженнями контактної мережі та дахового обладнання ЕРС при обривах проводів контактних підвісок.

Висновки

1. Основною причиною перепалів контактних проводів на нейтральних вставках є те, що електропоїзди по них проходять без відключення високовольтного вимикача.

2. Для попередження перепалів контактних проводів на нейтральних вставках в випадках проходження по них електропоїздів без відключення струму можна використовувати:

- використання дугостійких систем (конструкцій);

- використовувати пристрої, які забезпечують автоматичне відключення тягового струму ЕРС;
- використання чотирипрогонних ізолюючих спражень, замість трипрогонних, дозволить зменшити кут нахилу контактних проводів, що відходять на анкерування (зменшення інерційної складової натиску струмоприймача);
- встановлення секційних ізоляторів на нейтральній вставці.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Костюковский М. А. Управление электропоездом и его обслуживание: Учебник для технических школ ж. – д. транспорта. - М.: Транспорт, 1987. – 253 с.
2. Михеев В. П. Контактные сети и линии электропередачи: Учебник для вузов ж. -д. транспорта. - М.:Маршрут, 2003. – 416 с.
3. Сердинов С. М. Повышение надежности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1985. – 301 с.
4. ЦЕ – 0023 Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць, затверджені наказом Укрзалізниці 20.11.2007 р. №546 – Ц.
5. ЦШ – 0001 Інструкція з сигналізації на залізницях України, затверджена наказом Міністерства транспорту України № 259 від 8 липня 1995 р.
6. Яндович, В. Н. Сравнительный анализ контактных подвесок в странах Евросоюза и Украины: организация надежного токосъема / В. Н. Яндович, В. Г. Сыченко, А. В. Антонов // Электрификация транспорта. - 2014. - №7. - С. 67-77.

Надійшла до друку 15.11.2016.

Внутрішній рецензент *Муха А.М.*

3. Для зменшення об'єму пошкоджень контактної мережі та дахового обладнання ЕРС на нейтральних вставках необхідно використовувати барабанні компенсатори з храповим колесом.

4. Використовуючи закордонний досвід можна замість нейтральних вставок використовувати струморозділення.

REFERENCES

1. Kostyukovskiy M.A. Upravleniya elektropoezdom i ego obsluzhivanie: Uchebnik dlya tehnikeskikh shkol zh. – d. transporta. - M.: Transport, 1987. – 253 s.
2. Miheev V.P. Kontaktnyie seti i linii elektroperechachi: Uchebnik dlya vuzov zh. -d. transporta. – M.:Marshrut, 2003. – 416 s.
3. Serdinov S.M. Povyishenie nadezhnosti ustroystv elektrosnabzheniya elektrifitsirovan-nyih zheleznnykh dorog. – M.: Transport, 1985. – 301 s.
4. TsE – 0023 Pravyla ulashtuvannya ta tekhnichnoho obsluhovuvannya kontaktnoyi merezhi elektrifikovanykh zaliznyts', zatverdzhenni nakazom Ukrzaliznytsi 20.11.2007 r. №546 – Ts.
5. TsSh – 0001 Instruksiya z syhnalizatsiyi na zaliznytsyakh Ukrayiny, zatverdzhena nakazom Ministers-tva transportu Ukrayiny № 259 vid 8 lypnya 1995 r.
6. Yandovich, V.N. Sravnitelnyy analiz kontaktnykh podvesok v stranakh Yevrosoyuza i Uk-rainy: organizatsiya nalezhnogo tokosema / V.N. Yandovich, V.G. Sychenko, A.V. Antonov // Yelektrifikatsiya transportu. - 2014. - №7. - S. 67-77.

Зовнішній рецензент *Шкрабець Ф. П.*

Метою даної статті є аналіз причин перепалів проводів контактної мережі на нейтральних вставках. Методика статті ґрунтується на використанні положень теорії електричного пробую газів.

Актуальність даної роботи обумовлена тим, що при перепалах проводів контактних підвісок на нейтральних вставках відбувається розрегулювання контактної мережі на суміжних анкерних ділянках і, як результат, виникають значні витрати часу на її відновлення. Крім того, при перепалах та обриві проводів контактної підвіски відбувається пошкодження струмоприймачів та іншого дахового обладнання електрорухомого складу, що призводить до тривалих затримок поїздів.

В роботі проведений аналіз та приведені обґрунтування можливих причин перепалів проводів контактних підвісок на нейтральних вставках і запропоновані організаційні та технічні заходи для попередження перепалів контактних проводів на нейтральних вставках в випадках проходження по них електропоїздів без відключення струму, а також засоби, які покликані зменшити об'єм пошкоджень контактної мережі та дахового обладнання ЕРС в випадку появи перепалів контактних проводів.

Підвищення надійності роботи нейтральних вставок дозволить скоротити збитки, які викликані пошкодженнями контактної мережі та дахового обладнання ЕРС при обривах проводів контактних підвісок.

Ключові слова: контактна мережа змінного струму, нейтральна вставка, електрорухомий склад, перепал контактного проводу, захисні заходи.

УДК 621.332

В. А. ДЬЯКОВ¹, (ДНУЗТ), А. В. АНТОНОВ² (ДНУЗТ), С. Ю. МАЛИНКА³ (ДНУЗТ)

^{1,3}Каф. «Електроснабження залізничних доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25

²Каф. «Електроснабження залізничних доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 25, ел. пошта a.v.antonov91@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0001-5701-6087

ЗАЩИТА НЕЙТРАЛЬНЫХ ВСТАВОК КОНТАКТНОЙ СЕТИ ОТ ПЕРЕЖОГОВ

Целью данной статьи является анализ причин пережогов проводов контактной сети на нейтральных вставках. Методика статьи основывается на использовании положений теории электрического пробоя газов.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что при пережогах проводов контактных подвесок на нейтральных вставках происходит разрегулировка контактной сети на смежных анкерных участках и, как результат, необходимы значительные затраты времени на ее восстановление. Кроме того, при пережогах и обрыве проводов контактной сети происходит повреждение токоприемников и другого крышевого оборудования электроподвижного состава, что приводит к длительным задержкам поездов.

В работе проведен анализ и приведено обоснование возможных причин пережогов проводов контактных подвесок на нейтральных вставках и предложены организационные и технические меры для предупреждения пережогов контактных проводов на нейтральных вставках в случаях прохождения по ним электропоездов без отключения тока, а также средства, которые призваны уменьшить объем повреждений контактной сети и крышевого оборудования ЭПС в случае появления пережогов контактных проводов.

Повышение надежности работы нейтральных вставок позволит сократить убытки, вызванные повреждениями контактной сети и крышевого оборудования ЭПС при обрывах проводов контактных подвесок.

Ключевые слова: контактная сеть переменного тока, нейтральная вставка, электроподвижной состав, пережог контактного провода, защитные меры.

Внутренний рецензент *Муха А.М.*

Внешний рецензент *Шкрабец Ф. П.*

UDC 621.332

V. O. DYAKOV¹ (DNURT), A. V. ANTONOV² (DNURT), S. Y. MALINKA³ (DNURT)

^{1,3}Dep. «Power Supply of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 25

²Dep. «Power Supply of Railways», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. + 38 (056) 373 15 25, e-mail a.v.antonov91@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0001-5701-6087

PROTECTION OF THE NEUTRAL SECTION OF CONTACT NETWORK FROM DEFLAGRATE

The aim of this article is to analyze the reasons for deflagration of the contact wires on the neutral section. Methodology of the article is based on the use of the theory of the electrical breakdown of gases.

The relevance of this work was caused by the fact, that at DEFLAGRATE contact wire of contact network on the neutral section, happens disadjustment of a contact network on the adjacent tension length. To address the impacts requires considerable time and material costs. Also there is a damage of pantographs and other roof equipment of electric rolling stock, which leads to long delays of trains.

The analysis and justification of possible reasons for burnout the contact wire of contact network on the neutral section and the proposed organizational and technical measures for prevention of the burnout of the contact wires on the neutral section in cases of passing them electric train without disconnecting the current. As well as means designed to reduce the amount of damage to the contact network and roof equipment of electric train in case of stratification the contact wires.

Improving the reliability of operation of neutral section will reduce the losses caused by damage of the contact grid and roof equipment of electric train when the wire breaks contact

Keywords: contact network of AC, neutral section, electric rolling stock, deflagrate of contact wire, protective measures.

Internal reviewer *Mukha A.M.*

External reviewer *Shkrabets F. P.*