УДК 621.316.98: 699.887.2

В. О. ДЬЯКОВ – к. т. н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, elpostz@i.ua, dva-44@i.ua, dva-44@e.diit.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6141-8393
С. В. ЗВЯГИНЦЕВ – магістр, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, sergey19930813@gmail.com

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ СТИКУВАННЯ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ДІЛЯНОК

Вступ

У зв'язку з розвитком електрифікованих залізниць актуальним є питання про спосіб стикування різних систем струму і напруги при наскрізному русі поїздів по ділянках двох систем струму або по ділянках одного роду струму, але різного рівня напруги в контактній мережі. При перепалі проводів контактних підвісок на нейтральних вставках і станціях стикування відбувається розрегулювання контактної мережі на суміжних анкерних ділянках і, як наслідок, необхідні значні витрати часу на її відновлення. Крім того, при перепалі й обриві проводів контактної мережі відбувається пошкодження струмоприймачів і іншого дахового обладнання електрорухомого складу, що призводить до тривалих затримок поїздів. Отже, **метою науково-дослідної роботи** є аналіз існуючих способів стикування електрифікованих ділянок різних систем струму і рівнів напруги в контактній мережі при наскрізному русі поїздів.

Наукова новизна. Результати досліджень показали, що для мінімізації пошкоджень контактної мережі і струмоприймачів електрорухомого складу необхідно застосовувати схеми стикування при яких практично виключена можливість перепалу проводів контактної підвіски при наскрізному русі поїздів. Для цього запропоновано стикування електрифікованих ділянок, яка застосовується в Австралії на переїздах, де експлуатується негабаритний автомобільний транспорт.

Актуальність роботи. Вдосконалення способів стикування електрифікованих ділянок різного струму та напруги дозволяє попередити пошкодження контактної мережі та струмоприймачів при наскрізному русі електрорухомог складу в зоні струморозподілу.

Практичне значення отриманих результатів. Розглянута можливість вдосконалення схеми стикування електрифікованих ділянок постійного та змінного струму, яка практично виключає можливість перепалу проводів контактної підвіски та дахового обладнання електрорухомого складу.

Історія розвитку електрифікованих залізниць

На можливість використання електричної тяги на залізницях вказував ще в 1874 році російський фахівець Ф. А. Піроцкій. У 1875…1876 рр. він проводив досліди на Сестрорецький залізниці з передачі електричної енергії по ізольованим від землі рейках. Передача електроенергії здійснювалася на відстані близько 1 км. Як зворотний провід використовувалась друга рейка. Однак ця ідея залишилася на рівні експерименту. Тому, загальновизнаним днем народження використання електричної енергії на залізничному транспорті є 31 травня 1879 р., коли на берлінській промисловій виставці Вернер Сіменс продемонстрував першу електричну залізницю довжиною 300 м. Електровоз (трамвай) використовувався для катання відвідувачів по території виставки (рис.1) [1-5].

© В. О. Дьяков, С. В. Звягинцев, 2018

Електровоз отримував живлення від залізної смуги, покладеної між рейками, постійним струмом напругою 150 В. Зворотним проводом служила одна з рейок. Після успіху на Берлінській промисловій виставці Вернер Сіменс розпочав будівництво електричної трамвайної лінії в передмісті Берліна Ліхтерфельде. А вже 16 травня 1881 року перший трамвай відкрив рух між Берліном і Ліхтерфельдом, тим самим відкривши епоху трамвайного руху. У 1890 році електрична тяга була використана в лондонському метро. Електричний постійний струм напругою 500 В подавався на електродвигуни вагонів від третього рейки. Ця система виявилася дуже успішною і почала швидко поширюватись в інших країнах світу.

На території сучасної України перший трамвай в експлуатацію було введено в 1892 році військовим інженером А.Є. Струве в м. Києві. Це була перша трамвайна лінія в Російській імперії. Трохи пізніше в 1897 році було відкрито трамвайний рух в Катеринославі (нині м. Дніпро) [8].

Починаючи з 1893 року одночасно з трамваями прискореними темпами в світі почали розвиватися приміські та міжміські електрифіковані залізниці. У 1895 році була електрифікована залізниця Балтімор - Огайо (США) протяжністю 115 км. На ній електрична енергія постійного струму передавалася на електровоз не по контактного проводу, який з'явився значно пізніше, а по третій рейці, розташованій між двома ходовими рейками. Напруга постійного струму в третій рейці була така ж, як і на тягових двигунах – 650 В.

До 1900 року тільки в Європі протяжність електрифікованих залізниць досягла 10 тис. км. Перші електрифіковані залізниці по своїй протяжності були невеликими. Будівництво залізниць великої протяжності стикалися зі складнощами пов'язаними зі значними втратами енергії, які викликає передача постійного струму на великі відстані. Подальший розвиток електрифікації на постійному струмі йшов по шляху підвищення напруги в контактній мережі. У Франції і Англії в 20-х роках XX століття залізниці електрифікували на постійному струмі з напругою 1200 і 1500 В. Однак така напруга не є оптимальною ні для тягових двигунів, ні для системи електропостачання. Для двигунів вона велика, так як прийнятна маса, габаритні розміри і найменша вартість виходять при напрузі близько 900 В. Навіть для системи електропостачання постійного струму напруги 3000 В замало, так як при цьому потрібно мати у своєму розпорядженні тягові підстанції достатньо часто, на відстані 20…25 км одну від одної. Проте, ця напруга застосовується на залізницях постійного струму і до цього дня [8].

З появою в 80-х роках XIX століття трансформаторів змінного струму з'явилася можливість передачі електричної енергії на великі відстані з використанням лінії електропередачі високої напруги. У зв'язку з цим, на початку XX століття крім постійного струму на електрифікованих залізницях з'явився змінний струм різної напруги і частоти. При цьому в перший час застосовували знижену, а в подальшому промислову (нормальну) частоту струму живлення.

Різновиди систем електропостачання в світі

До теперішнього моменту загальна протяжність електричних залізниць у всьому світі досягла 200 тис. км, що становить приблизно 20 % загальної їх довжини. Як правило, це найбільш вантажонапружені лінії, ділянки зі складним профілем колії, приміські вузли великих міст з інтенсивним рухом поїздів.

Рис. 1. Перша електрична залізниця

© В. О. Дьяков, С. В. Звягинцев, 2018

До теперішнього часу в світі застосовуються три різні системи електричної тяги:

– постійного струму;

– змінного струму зниженої частоти 16,7 Гц;

– змінного струму стандартної промислової частоти 50 Гц.

У першій половині XX-ого століття для електрифікації залізниць застосовувалися дві перші системи, третя отримала визнання в 50-60-х роках, коли почався інтенсивний розвиток перетворювальної техніки і систем управління приводами.

В системі постійного струму до струмоприймачів електрорухомого складу підводиться струм напругою 3000 В (в деяких країнах 1500 В і нижче). Такий струм забезпечують тягові підстанції, на яких змінний струм високої напруги загальнопромислових енергосистем знижується до потрібного значення і випрямляється потужними напівпровідниковими випрямлячами. Одною з основних переваг системи постійного струму є застосування колекторних двигунів постійного струму, що володіють чудовими тяговими і експлуатаційними властивостями. А до числа її недоліків відноситься порівняно низьке значення напруги в контактній мережі. Наслідком цього є значні струми в контактній мережі, які викликають втрати енергії і ускладнюють процес струмознімання. Інтенсифікація залізничних перевезень і збільшення маси поїздів привели на деяких ділянках постійного струму до труднощів живлення електровозів через необхідність збільшення площі поперечного перерізу проводів контактної мережі.

Все ж система постійного струму здобула широкого поширення в багатьох країнах світу, біля половини всіх електрифікованих залізниць працюють за такою системою.

Прагненням підняти напругу в контактній мережі і виключити з системи електричного живлення процес випрямлення струму пояснюється застосування і розвиток у ряді країн Європи (ФРН, Швейцарія, Норвегія, Швеція, Австрія) системи змінного струму напругою 15000 В, зниженої частоти 16,7 Гц. При цій системі на електровозах використовують однофазні колекторні двигуни, які мають найгірші показники, ніж двигуни постійного струму. Ці двигуни не можуть працювати на загальній частоті 50 Гц, тому доводиться застосовувати знижену частоту. Для вироблення електричного струму такої частоти треба було побудувати спеціальні електростанції, не пов'язані з загальнопромисловими енергосистемами. Лінії електропередачі в цій системі однофазні, на підстанціях здійснюється тільки зниження напруги трансформаторами. На відміну від підстанцій постійного струму в цьому випадку не потрібні перетворювачі змінного струму в постійний.

У 50-ті роки XX-ого століття в СРСР і Франції були розпочаті роботи зі створення нової більш економічної системи електричної тяги змінного струму промислової частоти 50 Гц з напругою в тягової мережі 25 кВ. У цій системі, як і в системі постійного струму, тягові підстанції живляться від загальнопромислових високовольтних трифазних мереж. Але на них немає випрямлячів. Трифазну напругу змінного струму ліній електропередачі перетворюють трансформаторами в однофазну напругу контактної мережі 25 кВ, а струм випрямляється безпосередньо на електрорухомому складі. До основних переваг даної системи в порівнянні з системою постійного струму можна віднести збільшення відстані між тяговими підстанціями, зменшення площі перерізу проводів контактної мережі та скорочення втрат електроенергії.

До теперішнього часу системою змінного струму промислової частоти електрифіковано близько половини електрифікованих залізниць СНД і Франції, всі електрифіковані залізниці Китаю. У всьому світі в даний час електрифікація залізниць розвивається за системою змінного струму промислової частоти.

Найбільшу питому вагу загальної протяжності електрифікованих залізниць світу

© В. О. Дьяков, С. В. Звягинцев, 2018

припадає на країни Західної, Центральної та Східної Європи і країни СНД. Також електрифікований залізничний транспорт досить розвинений в Південно-Західній та Південно-Східної Азії (в основному це Японія, Китай і Індія) і на півдні Африки (в основному за рахунок ПАР). За абсолютною довжиною електрифікованих залізниць серед країн світу лідирує Росія (40,3 тис. км), з великим відривом від Німеччини (18,8 тис. км) і ПАР (16,8 тис. км). Цікавим є те, що на 12 країн об'єднаної Європи припадає майже три чверті загальної протяжності електрифікованої залізничної мережі світу (рис. 2). Примітний той факт, що до теперішнього часу в одного з піонерів впровадження електричної тяги (США), яка має найбільшу протяжність залізниць у світі, протяжність електрифікованих залізниць становить всього близько 1 %. За питомою вагою електричної тяги в загальному обсязі транспортної роботи залізничного транспорту лідирує Грузія і Вірменія (100 %), Швейцарія (99,0 %) і Швеція (95 %), в Німеччині – 87,6 %, у Великобританії – 55 %, в Італії – 90,7 %, в Росії – (46,2 %).

Так, в процесі світової еволюції електричної тяги крім описаних вище трьох систем з'явилося багато різновидів систем тягового електропостачання (табл. 1) [9].

Така еволюція систем тягового електропостачання, виражена в їх відмінності, обумовлена тим, що роботи з проектування систем велися одночасно в різних країнах, і у кожної системи є свої переваги і недоліки. Історично склалося так, що електрифікація починалася на окремих ділянках існуючої на той час мережі залізниць відповідно до рівня техніки і місцевих умов. Зі збільшенням протяжності електрифікованих ділянок і появою необхідності їх стикування виникли проблеми.

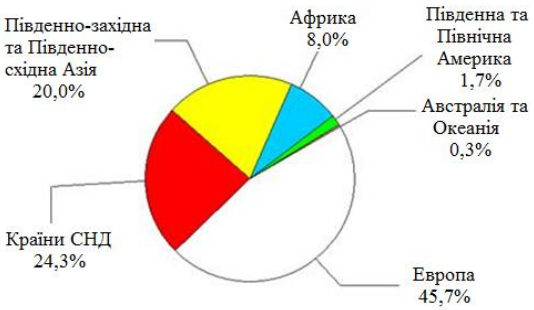

Рис. 2. Загальна протяжність електрифікованих залізниць в світі

Таблиця 1

Системи тягового електропостачання залізниць, що застосовуються в світі

Системи	Країни, що використовують дану систему
Постійного струму 0,65 - 1,2 кВ	Великобританія
Постійного струму 1,5 кВ	Великобританія, Іспанія, Нідерланди, Японія, Франція
Постійного струму 3,3 кВ	Росія, Україна, Бельгія, Іспанія, Італія, Польща
Змінного струму 15 кВ зниженої частоти 16,7 Гц	Німеччина, Австрія, Швейцарія, Швеція, Норвегія
Змінного струму 25 кВ	Росія, Україна, Китай, Франція, Великобританія, Угорщина, Німеччина, Данія, Італія, Португалія, Фінляндія
Змінного струму 20 кВ	Японія
Змінного струму 50 кВ	ПАР, США, Канада

В даний час в міжнародних сполученнях в межах Європи використовуються п'ять різних систем тягового електропостачання, географія яких різноманітна (див. табл. 1). Питома вага систем тягового електропостачання на залізницях миру надана на рис. 3.

© В. О. Дьяков, С. В. Звягинцев, 2018

Способи стикування електрифікованих ділянок залізниць

Різноманітність систем електропостачання в світі викликало необхідність стикування електрифікованих ділянок на різних системах струму, напруги або частоти. При цьому виникло декілька варіантів вирішення питання організації наскрізного руху поїздів в зоні стикування електрифікованих ділянок. Основними способами вирішення цієї проблеми є використання станцій стикування або застосування багатосистемного електрорухомого складу з використанням нейтральних вставок [1].

Станції стикування з'явилися на початку 50 років минулого століття. У Франції на станції Доль здійснювалося стикування електрифікованих ділянок змінного (25 кВ, 50 Гц) і постійного (1500 В) струмів. У Швейцарії на станції Женева – змінного струму (15000 В, 16,7 Гц) і постійного струму (1500 В). В Італії на станціях Чіассо і Домодосолла - змінного струму (15000 В, 16,7 Гц) і постійного струму (3000 В).

Контактна мережа станцій стикування має групи ізольованих секцій: постійного струму, змінного струму і перемикні. В перемикні секції подається електроенергія через так звані пункти угруповання. Контактну мережу з одного роду струму на інший перемикають спеціальними перемикачами з моторними приводами, які встановлюються на пунктах угруповання. До кожного пункту підведені дві живлять лінії змінного струму і дві - постійного від тягової підстанції постійно-змінного струму. Фідери відповідного роду струму цієї підстанції підключають також до контактної мережі горловин станції стикування і суміжних перегонів [4].

Для виключення можливості подачі на окремі секції контактної мережі струму, яке не відповідає рухомого складу що там знаходиться, а також виїзду ЕРС на секції контактної мережі з іншою системою струму перемикачі блокують одна з одну і з пристроями централізованого управління стрілками і сигналами станції стикування. Управління перемикачами включають в єдину систему маршрутно-релейної централізації управління стрілками і сигналами станції. Черговий по станції, збираючи будь-який маршрут, одночасно з установкою стрілок і сигналів у нове положення виробляє відповідні перемикання в контактній мережі [3].

В Україні через відсутність достатньої кількості двосистемного електрорухомого складу стикування ділянок електрифікованих постійним і змінним струмом здійснюється за допомогою станцій стикування (Львів, Тимкове, Лозова, П'ятихатки-Стикова) [2].

Істотно знижуються експлуатаційні витрати при застосуванні двох або багатосистемного рухомого складу на дільницях стикування.

Багатосистемні електровози і електропоїзди застосовують для забезпечення руху без зміни локомотивів по електрифікованих ділянках з різними системами електричної тяги, наприклад: постійного струму при напрузі 1500 і 3000 В, змінного струму з різними частотою і напругою, постійного струму і декількома системами змінного струму.

Рис. 3. Питома вага систем тягового електропостачання

© В. О. Дьяков, С. В. Звягинцев, 2018

У Франції двосистемні електровози застосовують для роботи на ділянках постійного струму з напругою 1,5 кВ і змінного струму з напругою 25 кВ і частотою 50 Гц. Чотирьохсистемі електровози забезпечують наскрізний рух між країнами Західної Європи на лініях постійного (1500 і 3000 В) і змінного (зниженою або промислової частоти) струму (табл. 2). Багатосистемні електровози в Європі використовують для руху пасажирських, головним чином міжнародних поїздів. В Японії поряд з двосистемними електровозами постійного струму напругою 1500 В і змінного 25 кВ, 50 Гц широко застосовують і двосистемні електропоїзди [6].

Таблиця 2

Технічні характеристики багатосистемного електровоза фірми Simens

Рід струму	U, кВ	S, МВА
Постійний	1,5	4,2
	3,0	6,0
Змінний	25, f = 50 Гц	6,4
	15, f = 16,7 Гц	6,4

В Україні двосистемні електровози експлуатуються з 60-х років минулого століття (ВЛ 82). В даний час на залізницях України експлуатуються двосистемні електровози ВЛ 82М і двосистемні електропоїзди вітчизняного і зарубіжного виробництва. В цьому випадку для стикування електрифікованих ділянок різного роду струму (Харків – Куп'янськ, Харків–Полтава та ін.) використовують нейтральні вставки. Однак при проході нейтральних вставок без відключення струму та інших аварійних ситуаціях може відбуватися пошкодження ізоляції нейтральних вставок і перепал контактних проводів [4].

Для запобігання цих негативних явищ можна використовувати закордонний досвід. Наприклад, в Австралії, де експлуатується негабаритний автомобільний транспорт над переїздом відсутня контактна підвіска (рис. 4). Цю ділянку електрорухомий склад проходить по інерції (в режимі вибігу) з піднятим струмоприймачем. Такий варіант повністю виключає перекриття ізолюючого проміжку і пошкодження контактної мережі [7].

Висновки

Метою даної статті було проаналізувати існуючі способи стикування електрифікованих ділянок різних систем струму і рівнів напруги в контактній мережі при наскрізному русі поїздів. Встановлено, що при застосуванні двох або багатосистемного рухомого складу на дільницях стикування істотно знижуються експлуатаційні витрати.

Основними видами пошкоджень контактної мережі є обрив чи перепалення. При перепалі проводів контактних підвісок на нейтральних вставках і станціях стикування відбувається розрегулювання контактної мережі на суміжних анкерних ділянках. Для усунення несправностей такого роду необхідні значні витрати часу. Крім того, при перепалі й обриві проводів контактної мережі відбувається пошкодження струмоприймачів і іншого дахового обладнання електрорухомого складу, що призводить до тривалих затримок в русі поїздів.

Для запобігання пошкоджень контактної мережі, струмоприймачів і дахового устаткування електрорухомого складу замість нейтральних вставок на залізницях України рекомендується використовувати конструкцію струморозділу яка застосовується на залізницях Австралії над переїздами, де експлуатується негабаритний автомобільний транспорт.

Рис. 4. Прохід електровозом зони струморозподілу над переїздом

© В. О. Дьяков, С. В. Звягинцев, 2018

Бібліографічний список

1. Михеев В. П. Контактные сети и линии электропередачи [Текст]/ В. П. Михеев – Москва:Маршрут, 2003. – 416 с.
2. ЦЕ – 0023 Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць, затверджені наказом Укрзалізниці 20.11.2007 р. № 546 – Ц.
3. ЦШ – 0001 Інструкція з сигналізації на залізницях України, затверджена наказом Міністерства транспорту України № 259 від 8 липня 1995 р.
4. Дьяков В.О. Захист нейтральних вставок контактної мережі від перепалів [Текст]/ В. О. Дьяков, А. В. Антонов, С. Ю. Малинка // Електрифікація транспорту. - 2016. - №12, с. 64-70.
5. Дьяков В. О. Контактна мережа електрифікованих залізниць. Улаштування контактної мережі / В. О. Дьяков, Д. О. Босий, А. В. Антонов– Дніпро: Вид-во ПФ. «Стандарт-Сервіс»; 2017. – 228 с. ISBN 978-617-7382-09-05.
6. Kiessling F. Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance. Second Edition. [Текст]/ F. Kiessling, R. Puschmann, A. Schmiesder, E. Schmiesder– Wiley, John & Sons, 2009. – 994 p.
7. 25 kV Air Gap: Australian Railways [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=q55EfuVYNW0
8. Развитие систем тягового электроснабжения/ Системы тягового электроснабжения, 2015 [Электронный ресурс]/ Режим доступа: https://studopedia.info/6-69930.html
9. Системы электрической тяги/ 2017 [Электронный ресурс]/ Режим доступа: http://lokomo.ru/elektrosnabzhenie/sistemy-elektricheskoy-tyagi.html

Ключові слова: атмосферна електрика, прямий удар блискавки, блискавковідвід, модель, зона захисту.

Ключевые слова: атмосферное электричество, прямой удар молнии, молниеотвод, модель, зона защиты.

Keywords: atmospheric electricity, direct lightning strike, lightning rod, model, protection zone.

Рецензенти:
проф., д.т.н., А. Б. Бойник,
проф., д.т.н., А. М. Афанасов.

Надійшла до редколегії 16.04.2018.
Прийнята до друку 23.04.2018.

© В. О. Дьяков, С. В. Звягинцев, 2018