

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ ТА СИСТЕМИ АВТОБЛОКУВАННЯ НА ПЕРЕВАЛЬНИХ ДІЛЯНКАХ З КРУТИМ ПРОФІЛЕМ

В статті проведено дослідження роботи рейкових кіл та системи автоблокування на перевальній ділянці з крутим профілем. Проведено тягові розрахунки, здійснено оцінку теплових режимів роботи дросель-трансформаторів, розраховано режими роботи рейкових кіл при встановленні двох дросель-трансформаторів на живлячому та релейному кінцях.

Ключові слова: рейкове коло, дросель-трансформатор, теплові режими

В статье проведено исследование работы рельсовых цепей и системы автоблокировки на перевальном участке с крутым профилем. Были проведены тяговые расчеты, произведена оценка тепловых режимов работы дросель-трансформаторов, рассчитаны режимы работы рельсовых цепей при установке двух дросель-трансформаторов на питающем и релейном концах.

Ключевые слова: рельсовая цепь, дросель-трансформатор, тепловые режимы

Functioning of the track circuits and automatic block system on a pass section with a steep profile has been investigated. The traction calculations, the thermal operating modes of choke transformers, the operating regimes of track circuits with installing two choke transformers on supply and relay ends have been determined.

Keywords: track circuit, choke transformer, thermal modes

Вступ

На сьогоднішній день залізничний транспорт України зазнає модернізації та вдосконалення. Внаслідок розвитку економіки підвищується вантажообіг, зростають швидкості, збільшується пропускна здатність, тому висуваються більш жорсткі вимоги щодо безпеки руху. Модернізація є пріоритетним напрямком в забезпеченні високоефективного функціонування залізниці в цілому.

Та на цьому шляху в окремих випадках постають труднощі, які пов'язані з роботою застарілої елементної бази або з проблемами забезпечення електромагнітної сумісності пристроїв СЦБ та зв'язку з пристроями тягового електропостачання [1].

Постановка задачі

Не дивлячись на стрімкий стрибок науково-технічного прогресу та впровадження новітніх технологій, існують ділянки доріг, де питання безпеки руху досі залишаються відкритими. Використання рейок для пропуску зворотного тягового струму висуває вимоги щодо забезпечення безвідмовної роботи пристроїв залізничної автоматики. До основних факторів, що впливають на роботу рейкових кіл, відносяться термічні, заважаючі, пошкоджуючі та параметричні. Рейкові кола (РК) є самими ненадійними елементами залізничної автоматики і водночас від їхньої справної роботи залежить

забезпечення технологічного процесу перевезення вантажів і пасажирів.

На перевальних гірських ділянках з крутим профілем робота РК дуже ускладнюється і є досить проблематичною, адже для створення достатнього для руху потягу тягового зусилля потрібно, як правило, декілька локомотивів. Це, у свою чергу, призводить до споживання рухомим складом великих тягових струмів, які здійснюватимуть термічний вплив на апаратуру СЦБ, і, відповідно, на режими роботи РК.

Питання впливу тягового струму на роботу РК досліджувалися в 70-х роках науковцями ВНІЖТу, зокрема М. В. Пенкіним. Вченими було розроблено методику розрахунку дросель-трансформаторів (ДТ). Та дані розрахунки стосувалися застарілих ДТ, що на сьогоднішній день не використовуються на залізниці. Тому постала проблема дослідження теплових режимів роботи ДТ, що на даний час мають широке застосування на залізниці. Проблема є актуальною і потребує детального дослідження.

Метою роботи є дослідження роботи РК та системи автоблокування на перевальній ділянці з крутим профілем.

В роботі ведеться дослідження термічного впливу, якого в значній мірі зазнає апаратура РК. Основними елементами, що зазнають термічного впливу, є дросель-трансформатори (ДТ), дросельні перемички (ДП) та стикові з'єднувачі (СЗ). Вище приведені елементи повинні володіти високою електропровідністю та

термічною стійкістю для забезпечення коректної роботи РК.

Було розглянуто перевальну ділянку Лавочне – Бескид – Скотарське, що знаходиться в Карпатах. Ділянка є дуже проблематичною, адже знаходиться на підйомі 30,4 ‰ і для того, щоб розвинути достатнє для такого підйому тягове зусилля, використовується чотири локомотиви типу ВЛ-11. Під час проведення тягових розрахунків силу тяги, що потрібна одному електровозу на розрахунковому підйомі було визначено за формулою:

$$F_{кел} = \frac{Q(W_0'' + i_p) + P(W_0' + i_p)}{4}, \quad (1)$$

де $F_{кел}$ – сила тяги, кгс;

Q – фактична маса потягу, т;

i_p – питомий опір на розрахунковому підйомі, кг/т;

W_0'' – основний питомий опір рухові електровозу ВЛ-11;

W_0' – основний питомий опір рухові чотирьох основних вагонів на роликівих підшипниках;

P – вага електровозу ВЛ-11.

Внаслідок проведеного тягового розрахунку було встановлено, що сила тяги одного електровоза дорівнює $F_{кел} = 38154$ кгс, рівні тягових струмів складають 7200 А. Цей показник є дуже великим, адже в РК звичайних ділянок з електричною тягою постійного струму за нормальної роботи такий струм майже не спостерігається. Тому відразу постає питання термічного впливу на РК, а саме на ДП, СЗ та ДТ. Призначенням ДТ є пропуск зворотного тягового струму в обхід ізолюючих стиків та узгодження низькоомного опору рейкової лінії з високоомним опором живлячого кінця (ЖК) і релейного кінця (РК) [2].

На перегоні, що розглядається, встановлені дросель-трансформатори типів ДТ-0,6-1000 на ЖК та ДТ-0,2-1000 на РК. ДТ таких типів можуть пропускати по кожній з напівобмоток струм 1000 А, а через дросельну перемичку – 2000 А [3]. Приварні стикові мідні з'єднувачі пропускають від 70 до 90 % струму при ослабленні затяжки болтів, а допустима величина струму, який пропускає мідний стиковий з'єднувач при тязі постійного струму складає 1100 А, для сталевих з'єднувачів цей показник сягатиме 800 А. Для мідних та сталевих перемичок допустимі струми будуть розподілятися відповідно 1100 А та 1400 А. В процесі руху електровозу в середині міжпідстанційної зони

струм розтікатиметься в обох напрямках і розділятиметься приблизно на рівні частини (по двом рейкам), тому виходячи з отриманих внаслідок тягових розрахунків даних по кожній з рейок протікатиме максимальний струм порядку 1800 А. Ближче до підстанції струм буде вище цієї величини. Порівнюючи цей показник з вищенаведеними допустимими нормами струмів, можна з упевненістю стверджувати, що робота ДТ, ДП, СЗ порушуватиметься.

Теплові режими роботи дросель-трансформаторів

Якщо розглянути особливості теплового режиму роботи колійного дроселя, то нагрівання обмотки та сталевих осердя ДТ від сигнального струму є досить малим і ним можна знехтувати. Нагрівання викликане головним чином проходженням тягового струму по обмоткам ДТ [5].

Рух потягу вздовж перегону супроводжується постійною зміною потужності, що споживається з контактної мережі. Це викликано нерівномірністю ведення локомотиву. Внаслідок цього рівень тягового струму, що споживається з контактної мережі, постійно різнитиметься і, у свою чергу, буде визначати струм в рейках та струм через ДТ зокрема [4]. Таким чином ДТ знаходиться під впливом струму, рівень якого постійно змінюється в процесі руху локомотива і саме він визначатиме ступінь нагрівання ДТ.

Місцем виділення тепла в ДТ є обмотка, від неї тепло передається маслу, а від масла – до стінок ДТ, які виділятимуть тепло у навколишнє середовище шляхом випромінювання та конвекції. Оскільки по обмотках ДТ протікає струм, що майже у два рази перевищує допустимі норми, що не передбачено конструкцією ДТ, то робота ДТ порушується.

Було проведено теоретичне дослідження теплових режимів роботи ДТ при протіканні розрахованих тягових струмів [5].

$$t = -\tau \cdot \ln \left(1 - \frac{\theta_1}{\theta_{m1}} \right), \quad (2)$$

де t – час, за який ДТ перегрівается до температури 115 °С;

τ – стала часу;

θ_1 – допустима температура перегріву масла по відношенню до повітря навколишнього середовища, град;

θ_{m1} – конструктивний параметр, що залежить від потужності ДТ, конструкції та коефіцієнта теплопередачі від масла до повітря.

Було отримано графік, що показує, за який час температура перегріву ДТ досягатиме 115 °С за відповідних величин тягових струмів (рис. 1). На даному графіку: 1 – крива для ДТ-0,2-1000, 2 крива для – ДТ-0,6-1000.

При більш високій температурі бітумна мастика в місцях виводу ДТ може розплавитися, а також спостерігатиметься розгерметизація корпусу. При тяговому струмі 1800 А, що протікатиме по кожній з напівобмоток дроселя, ДТ-0,6-1000 та ДТ-0,2-1000 нагріватимуться до критичної температури відповідно за 4.5 хв та 7 хв. Але це виконуватиметься за умови, що рухомий склад, споживаючи максимальний струм, весь час знаходитиметься в точці підключення ДТ. В процесі руху потягу частина тягового струму протікатиме через землю і тяговий струм в точці підключення ДТ буде змінюватися та досягатиме свого максимуму тільки при проїзді рухомим складом ординати ДТ.

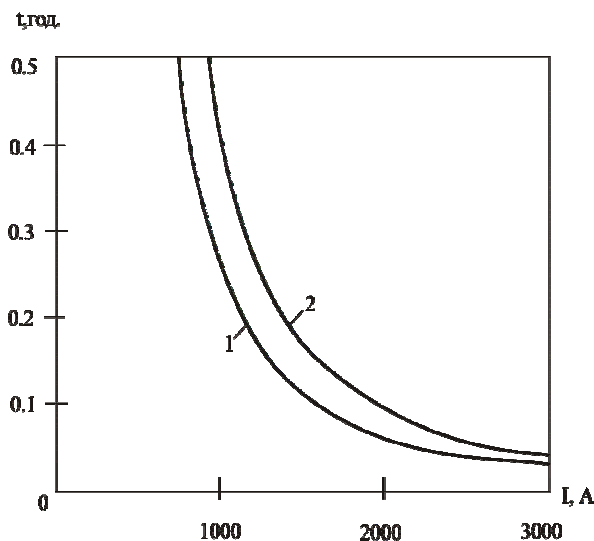


Рис. 1. Графік залежності часу, за який ДТ перегріється до температури 115 °С, від величини тягового струму:

- 1 – крива перегріву ДТ-0,2-1000;
- 2 – крива перегріву ДТ-0,6-1000

Між станціями Лавочне – Бескид – Скотарське відстані складають не більше 5 км, то припустивши, що локомотиви рухатимуться із середньою швидкістю 30 км/год, можна стверджувати, що загальний час руху по перегону даного рухомого складу – менше 10 хв.

Оскільки потяг рухатиметься, поширення тягових струмів залежатиме не тільки від місцезнаходження рухомого складу, а й від розміщення тягових підстанцій. За деяких обставин може спостерігатися перегрів ДТ, ДП та СЗ. Внаслідок чого порушуватиметься нормальне функціонування РК.

Якщо взяти до уваги такий важливий параметр, як коефіцієнт асиметрії, то його граничне значення за технічними умовами дорівнює $k_a = 0,12$. В такому випадку різниця струмів у рейках дорівнюватиме $\Delta I = 432 \text{ А}$. В дійсності коефіцієнт асиметрії може досягти значень від 20 до 30 %. Внаслідок протікання великих тягових струмів через ДТ виникає таке явище, як насичення осердя ДТ, в результаті чого вхідний опір ДТ сигнальному струму значно знизиться, це може призвести до зниження напруги на колійному приймачі до значення напруги непритягання якоря реле. Тобто ріст струму асиметрії може викликати параметричну відмову рейкового кола.

Як альтернативне вирішення проблеми нагрівання ДТ внаслідок протікання великих тягових струмів пропонується дублювання ДТ відповідно на ЖК та РК (рис. 2). Як зазначалося вище, ДТ призначені для пропуску зворотного тягового струму, тому в даному випадку ДТ будуть виконувати не тільки свою основну функцію, а й додаткову – знижуватимуть великі навантаження, що мають місце за встановлення по одному ДТ на ЖК та РК. Це допоможе вирішити проблему нагрівання ДТ.

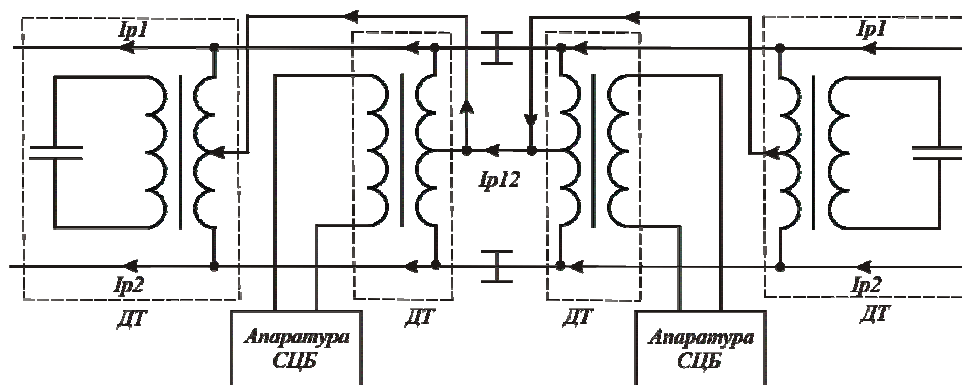


Рис. 2. Схема паралельного підключення двох ДТ на релейному та живлячому кінцях

До РК висуваються вимоги, які за будь-яких умов повинні виконуватися. До цих вимог в першу чергу належить передача інформації про вільність РК за відсутності рухомого складу та інформація про зайнятість РК за наявності хоча би однієї колісної пари рухомого складу або при пошкодженні рейки [3]. Виходячи з цього, при розрахунках та дослідженнях розрізняють режими роботи РК. Проведено розрахунок роботи РК з двома ДТ у наступних режимах: нормальному, шунтовому, контрольному та АЛСН. Кожному з вище приведених режимів роботи відповідає певна схема заміщення, в якості якої застосовується каскадна схема з трьома чотириполюсниками: Н – початку, РЛ – рейкової лінії, К – кінця. Чотириполюсник Н включає апаратуру живлячого кінця: дросель – трансформатори, узгоджуючі трансформатори, обмежувачі та ін. [7] Чотириполюсник К включає всю апаратуру релейного кінця та колійний приймач. Усі коефіцієнти чотириполюсників Н та К беруться незмінними. В розрахунках для дросель-трансформатора типу ДТ-0,6-1000 було взято коефіцієнт трансформації $n = 15$, для ДТ-0,2-1000 – $n = 17$. При паралельному з'єднанні двох однакових чотириполюсників застосовуються додаткові перетворення, що полягають спочатку у переході до Y-форми:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y'_{11} & Y'_{12} \\ Y'_{21} & Y'_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y''_{11} & Y''_{12} \\ Y''_{21} & Y''_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2D}{B} & \frac{2}{B} \\ -\frac{2}{B} & \frac{2A}{B} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де A , B , D – коефіцієнти чотириполюсників, які паралельно з'єднуються;

Y'_{11} , Y'_{12} , Y'_{21} , Y'_{22} , Y''_{11} , Y''_{12} , Y''_{21} , Y''_{22} – коефіцієнти чотириполюсників, що утворилися внаслідок Y-перетворення;

Y_{11} , Y_{12} , Y_{21} , Y_{22} – результуюча матриця суми перетворених чотириполюсників.

Далі здійснюється перехід до A-форми:

$$\begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{Y_{22}}{Y_{21}} & -\frac{1}{Y_{21}} \\ \frac{\Delta_y}{Y_{21}} & -\frac{Y_{11}}{Y_{21}} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де Δ_y – детермінант результуючої матриці суми перетворених чотириполюсників;

A' , B' , C' , D' – коефіцієнти результуючої матриці A-форми.

Розрахунок режимів роботи рейкових кіл (РК) з двома ДТ на ЖК та РК показав, що режими роботи рейкових кіл відповідають нормативним [5]. Особливу увагу слід приділити шунтовому режиму роботи, який повинен виконуватися за найгірших умов [2]. Шунтовий режим в значній мірі залежить від того, де на РЛ знаходиться шунт. Якщо шунт знаходиться в місці мінімальної шунтової чутливості, то спостерігатимуться найнесприятливіші умови для шунтового режиму. Внаслідок дослідження шунтового режиму роботи, за якого було визначено коефіцієнти шунтової чутливості на ЖК та РК, виявилось, що він є критичним за умови знаходження шунта на РК. Це можна пояснити зниженням опору на ЖК та РК. Тому паралельно обмотці ДТ пропонується встановити ємність, налаштовану в резонанс. Саме така схемна реалізація, як показали розрахунки, забезпечує шунтовий режим роботи рейкових кіл згідно нормативним.

Водночас запропонований спосіб вирішення проблеми нагрівання ДТ має суттєвий недолік. Він полягає у тому, що встановлення двох ДТ на ЖК та РК не є економічно ефективним внаслідок високої вартості. Тому розглядається варіант встановлення тональних рейкових кіл (ТРК), які з часом знаходять все більше застосування. До основних переваг ТРК належать: підвищення завадостійкості та зниження взаємного впливу між рейковими колами внаслідок використання сигнального струму тонального діапазону, відсутність ізолюючих стиків, завдяки чому забезпечується безперервність кола повернення тягового струму та зниження кількості дросель-трансформаторів, які встановлюватимуться тільки для вирівнювання потенціалів в рейках.

Висновки

В роботі було проведено дослідження роботи РК та системи автоблокування на переважній ділянці Лавочне – Бескид – Скотарське з крутим профілем. В результаті тягових розрахунків було визначено рівні тягових струмів. Було проведено дослідження термічного впливу зворотного тягового струму на ДТ, ДП та СЗ. Побудовано залежність часу перегріву ДТ до температури 115 °С при дії тягового струму. Запропоновано схемне вирішення проблеми нагрівання ДТ, що реалізоване у вигляді дублювання ДТ на ЖК та РК. Проведено розрахунок режимів роботи рейкових кіл з двома ДТ відповідно вимог, що їм висуваються. Внаслідок проведеного аналізу розрахунку запропо-

новано та розраховано схемне вирішення проблеми зниження вхідного опору РК і, як наслідок, суттєве покращення шунтового режиму роботи. В перспективі розглядається варіант переобладнання перегону тональними рейковими колами.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Наумов, А. В. Критерии выбора параметров обратной тяговой (рельсовой) сети при пропуске поездов повышенной массы и длины [Текст] / А. В. Наумов, А. А. Наумов // Автоматика, связь, информатика. – Вып. 2. – М., 2002. – 638 с.
2. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание [Текст] / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М.: Транспорт, 1990. – С. 295.
3. Котляренко, Н. Ф. Электрические рельсовые цепи [Текст] / Н. Ф. Котляренко. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 327 с.
4. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] : учебник для вузов ж.-д. трансп. - 4-е изд., перераб. и доп. / К. Г. Марквардт. - М.: Транспорт, 1982. - 528 с.
5. Разгонов, А. П. Дослідження систем автоблокування на перевальних ділянках з крутим профілем [Текст] / А. П. Разгонов, К. І. Ящук // Матеріали III-ї Міжн. наук.-практ. конф. «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті». – Д.: Вид-во ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2010.
6. Вплив тягового струму асиметрії на роботу рейкових кіл [Текст] / А. П. Разгонов [та ін.] // Матеріали IV-ї Міжн. наук.-практ. конф. «Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті». – Д.: Вид-во ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2011.
7. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст] / В. С. Аркатов [и др.]. – М.: Транспорт, 1982. – 364 с.

Надійшла до редколегії 24.01.2011.

Прийнята до друку 27.01.2011.