

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ВІДМОВ І МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЙКОВИХ КІЛ

Представив д.ф.-м.н., проф. Гаврилюк В. І.

Вступ

Рейкові кола є основним колійним датчиком систем залізничної автоматики на станціях і перегонах, від правильності роботи яких залежить безпека руху поїздів (БРП). У зв'язку з тим, що постійно підвищуються вимоги до БРП зростає важливість технологічного обслуговування рейкових кіл (РК), зокрема тональних рейкових кіл (ТРК), які застосовуються на ділянках із прискореним рухом поїздів.

Подальше підвищення безпеки рейкових кіл пов'язане з поліпшенням технічного обслуговування на якісно новому рівні з використанням автоматизованих методів контролю, а також пошуку кращих методів вимірювання параметрів РК. Для розробки таких методів і систем необхідно попередньо провести аналіз статистики відмов рейкових кіл з виявленням причин відмов, що найчастіше зустрічаються, і проаналізувати методи вимірювання параметрів РК.

Метою роботи є проведення аналізу відмов рейкових кіл, існуючих методів контролю стану РК та методів вимірювання їх параметрів для розробки на цій основі методів вимірювання та засобів автоматизованого контролю параметрів рейкових кіл.

Аналіз відмов рейкових кіл

На залізницях України відбувається інтенсивне впровадження рейкових кіл тональної частоти (ТРК) на ділянках зі швидкісним рухом поїздів. Ці рейкові кола відрізняються від тих, що експлуатуються, наступними позитивними особливостями: повною відсутністю ізолюючих стиків на перегоні, застосуванням апаратури на сучас-

ній елементній базі й амплітудно-модульованого сигналу замість синусоїдального, а так само можливістю роботи при низькому опорі ізоляції баласту. Перераховані відмінності у свою чергу викликають складності при аналізі роботи ТРК обслуговуючим персоналом, тому що змінюється структура відмов і методи контролю цих рейкових кіл (тип вимірювальних приладів). Дана обставина позначається на безпеці руху поїздів (БРП). Тому з метою підвищення безпеки ТРК у даній роботі проведений аналіз відмов і методів контролю, вимірювання параметрів РК.

Аналіз структури відмов ТРК полягав у наступному: розподіл відмов рейкових кіл з ізолюючими стиками (далі РК із ІС) по елементах; порівняльний аналіз РК із ІС і ТРК за питомими показниками на 1000 рейкових кіл. Слід зазначити, що аналіз проводився за 2005 рік на підставі даних [1] для залізниць Росії, де експлуатація ТРК ведеться більше 10 років і ними обладнано більше дільниць, що збільшує вибірку й об'єктивність результатів, на відміну від залізниць України.

Усього відмов РК із ІС за 2005 рік на всій мережі залізниць Росії зафіксовано 1966, при цьому ці відмови близько 20 % від всіх відмов господарства сигналізації, централізації й блокування (СЦБ). На першому етапі аналізу виявлені такі причини відмов, які представлені на рис. 1. При цьому найчастіше відмова доводилася на ізолюючий стик (ІС) – усього 570, на стикові з'єднувачі – 356, на закорочування рейкових кіл – 315, на тягові, міжколійні з'єднувачі, порушення регульовального режиму, вплив сторонніх джерел, злам рейки

– 235, на несправність апаратури – 196, на інші причини відмов – 294.



Рис. 1. Розподіл причин відмов у рейкових колах по елементах

На залізницях України відмов рейкових кіл з ІС за 2005 рік зафіксовано 246 згідно [2]. При цьому дані відмови становлять 13 % від всіх відмов СЦБ. Незважаючи на розходження в кількості відмов рейкових кіл і їхній питомій вазі по господарствах СЦБ на залізницях Росії та України саме ці відмови безпосередньо впливають на БРП. Однак практично біля чверті від загальної кількості відмов рейкових кіл пов'язано з порушеннями технології обслуговування (ТО).

Весь попередній аналіз для залізниць Росії та України виконано для РК із ІС, але не до ТРК. Представлені результати в [1] для залізниць Росії порівняльного аналізу роботи РК із ІС і ТРК свідчать що по кількості відмов на 1000 рейкових кіл тональної частоти працюють в 3 рази надійніше. Таке збільшення надійності роботи пояснити тільки практично повною відсутністю ізолюючих стиків неможливо, тому вимагає детальних пояснень. По-перше, вплив сторонніх джерел практично виключається, тому що забезпечується придушення будь-якого іншого сигналу. По-друге, зменшується кількість дросель-трансформаторів (ДТ), які ставляться через кожні 5-6 км. По-третє, виконання апаратури з урахуванням сучасних вимог і на сучасній елементній базі приводить до скорочення кількості відмов. По-четверте, підвищення коефіцієнта повер-

нення колійного приймача до 0,8, що поліпшує основні режими роботи ТРК.

Така перевага за надійністю роботи збільшується, при впровадженні ТРК із централізованим розміщенням апаратури. Однак на залізницях України в ТРК, як і в РК із ІС, біля чверті від всіх відмов пов'язано з порушенням технічного обслуговування (ТО), а в 11 % відмов причина не виявлена, що можна пояснити складністю в експлуатації й діагностування відмов.

Для роз'яснення наведеного вище приведемо приклад діагностування несправності електромеханіком ТРК на перегоні в нормальному режимі.

Несправність ізолюючих стиків (коротке замикання). Можлива така ситуація, коли колійний приймач суміжного рейкового кола стане під струм і на зайняту ділянку шляху вступить рухома одиниця, що приведе до катастрофи. У цьому випадку необхідно перевіряти відсутність сигналу контрольованого рейкового кола на колійному приймачі суміжної ТРК (напруга на виводах 11-43 блоку ПП). Для короткого замикання ізолюючих стиків характерно досить різке збільшення контрольованої напруги.

Несправність стикового з'єднувача (розрив). У результаті через нього припиняє протікати сигнальний струм рейкового кола аналогічно, як у випадку обриву рейки. Рейкове коло починає працювати в контрольному режимі. На ПП різко зменшується напруга сигналу, у тому числі й від сусідніх ТРК, при відсутності ІС на межах контрольованої дільниці. Струм джерела ТРК різко зменшується.

Результатом короткого замикання є різке збільшення струму (і відповідно потужності) генератора ТРК. На колійному приймачі напруга стрибком зменшується нижче величини надійного відпускання, фіксуючи зайнятість контрольованої дільниці.

Несправність міжколійного з'єднувача за характером впливу аналогічна ситуації несправності стикових з'єднувачів.

Несправність тягових перемичок, які організують електричне з'єднання рейка-ДТ, має на увазі перегорання даного провідника струму. У цьому випадку зворотний тяговий струм протікає тільки по одній рейці,

збільшується асиметрія струму й на прийомному кінці ТРК виникає струм частотою 50 Гц і відбувається розмикання АВМ-2 15А (при електротязі змінного струму). Або ж збільшується намагніченість сердечника ДТ, що приводить до зміни параметрів ДТ живлячого (або релейного) кінця й форми сигналу на прийомному кінці ТРК (при електротязі постійного струму).

Зменшення напруги на колійному приймачі нижче зазначеного в регулювальній таблиці. У цьому випадку причин може бути декілька: витік струму, вплив сторонніх джерел, зменшення опору ізоляції баласту, і т.д. Тому електромеханіку в цьому випадку найбільше складно визначити причину несправності. Тільки після визначення причини зменшення напруги на колійному приймачі електромеханік може здійснити санкціоновано підрегулювання рейкового кола, згідно [3, 4]. Величина напруги на живлячому кінці ТРК повинна бути не більше зазначеної в регулювальній таблиці, а на колійному приймачі – у межах між мінімальною і максимальною, відповідно до регулювальної таблиці. Контролюються параметри – напруги на виході генератора, фільтра та на колійному приймачі.

Вплив сторонніх перешкод позначається найбільше на колійному приймачі, який приймає сигнал. Напруга на ньому повинне бути при мінімальній напрузі живлення й мінімальному опорі ізоляції рейкової лінії (РЛ) не менш і при максимальній напрузі живлення й максимальному опорі ізоляції РЛ не більше зазначеного в регулювальній таблиці [5].

При зламі рейки характерна ситуація, що описана для несправності стиків з'єднання.

Розглянуті не всі можливі ситуації, однак навіть така кількість несправностей свідчить про ускладнення діагностики відмов у ТРК.

Аналіз існуючих методів контролю стану рейкових кіл та методів вимірювання їх параметрів

Розглянемо ТО для рейкових кіл, що передбачається відповідно до Інструкції по технічному обслуговуванню пристроїв сигналізації, централізації й блокування (СЦБ)

ЦШЕОТ/0012 (далі ЦШЕОТ/0012) [5], Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування ЦШ/0042 [3].

Технічне обслуговування ТРК базується на технологічних картах № 32...№ 41 [3] і відповідно до пунктів 10.1...10.9. ЦШЕОТ/0012 [5]. У нормальному режимі вимірюється напруга на кожному елементі рейкового кола по технологічній карті (ТК) № 36 та пункту 10.4. ЦШЕОТ/0012, а також проводиться перевірка стану баласту по ТК № 40 за пунктом 10.8. ЦШЕОТ/0012 і стану рейкового кола відповідно до ТК № 32 й пункту 10.1. ЦШЕОТ/0012. Крім того, окремо вимірюється напруга на колійних реле за ТК № 34 й пунктом 10.3. ЦШЕОТ/0012. У шунтовому режимі визначається за ТК № 33 і пунктом 10.2. ЦШЕОТ/0012 шунтова чутливість щодо релейного та живлячого кінців до нормативного шунта 0,06 Ом (залишкова напруга). У режимі АЛС вимірюється величина кодового струму АЛС за ТК № 37 й пунктом 10.4. ЦШЕОТ/0012, а також виконується її регулювання за ТК № 36 і пунктом 10.4. ЦШЕОТ/0012, часові параметри кодів АЛС за ТК № 35 й пунктом 10.4. ЦШЕОТ/0012. Інші супровідні роботи виконуються за ТК № 37, 38, 39, 41 відповідно до пунктів 10.6, 10.7. ЦШЕОТ/0012.

Перераховані вище технологічні карти рекомендують застосування наступних вимірювальних приладів: прилад комбінований Ц4380 (ампервольтметр ЭК – 2346, мультиметр В7 – 63), мультиметр цифровий В7 – 63, перетворювач струму селективний А9 – 1, індикатор струму рейкових кіл ИРК – 25/50 (МРК – 75), шунт для випробування рейкових кіл типу ШУ-01м опором 0,06 Ом, вимірник тимчасових параметрів ИВП – АЛСН, вимірник опору заземлення М416 (ЭС0201), мегаомметр М4100/5 (ЭС0202/2), іскровий проміжок ИПМ.

ТО виконується, в-

- основному, електромеханіком і електромонтером з періодичністю робіт від 1 разу в чотири тижні до 1 разу в квартал, однак роботи за технологічними картами № 33, 34, 36 можуть виконуватися щодня. Вони повинні вимірювати електричні параметри, які залежать від первинних параметрів рей-

кової лінії (опору ізоляції баласту R_{iz} й рейки Z_p), на великій кількості рейкових кіл. Тому розглянемо методи вимірювання R_{iz} й Z_p .

Відомі наступні методи вимірювання R_{iz} й Z_p [6]: холостого ходу й короткого замикання (хх і кз), двох коротких замикань, двох відомих навантажень, електрично довгої лінії, модифікованої електрично довгої лінії, одного короткого замикання із графоаналітичним розрахунком, двох вимірювань при одному короткому замиканні. Останні два методи в експлуатації рейкових кіл не знайшли широкого застосування, так як передбачають побудову графіків на підставі вимірювань величин і не дають безпосередньо відразу величини, яка вимірюється. Метод модифікованої електрично довгої лінії припускає, що при накладенні шунта напруга й струм не змінюються ні на початку РЛ (біля джерела живлення) ні на відстані 0,5 км від початку рейкової лінії. При цьому обчислення величини R_{iz} виконується за складними формулами з використанням логарифмічної функції. Даний метод теж не знайшов широкого застосування через специфіку вимог.

Розглянемо більш докладно перші три методи, які знайшли широке застосування в експлуатації РК із-за їхньої простоти реалізації.

Метод хх і кз найпростіший, але має наступний недолік: чим довша рейкова лінія, тим менша різниця величин опорів холостого ходу та короткого замикання, що призводить до значних похибок в вимірюваннях. Розглянуті вимірювання вимагають відключення від рейкових кіл колійних трансформаторів (ДТ). Тому для виключення даного недоліку використовують інші методи.

Розглянемо метод двох коротких замикань більш докладно. Відповідно до методу проводяться два коротких замикання на відстанях l і $2l$ від джерела живлення. У результаті одержуємо відповідним відстаням l , $2l$ опору пору Z_l , Z_{2l} . Потім обчислюємо величини хвильового опору Z_B й гіперболічного тангенса від γl :

$$\operatorname{th} \gamma l = \sqrt{\frac{2Z_l - Z_{2l}}{Z_{2l}}} = T e^{j\varphi_l}, \quad (1)$$

$$Z_B = \frac{Z_l}{\operatorname{th} \gamma l}, \quad (2)$$

де γ – коефіцієнт поширення.

Визначаємо кілометричні коефіцієнти загасання амплітуди α й фази β .

$$\operatorname{th} 2\beta \cdot l = \frac{2T \cos \varphi_l}{1 + T^2}, \quad (3)$$

$$\operatorname{th} 2\alpha \cdot l = \frac{2T \sin \varphi_l}{1 - T^2}, \quad (4)$$

Модуль коефіцієнта поширення $|\gamma| = \sqrt{\beta^2 + \alpha^2}$, а кут $\varphi_\gamma = \arctg(\alpha/\beta)$.

Тоді при активному опорі ізоляції баласту (ОІБ)

$$Z_p = Z_B \cdot \gamma, \quad (5)$$

$$R_{iz} = \frac{Z_B}{\gamma}. \quad (6)$$

При наявності в ОІБ реактивної (ємнісної) складові модулі Z_p й R_{iz} виражаються

$$|Z_p| = |Z_B| \cdot \sqrt{\beta^2 + \alpha^2}, \quad (7)$$

$$R_{iz} = \frac{Z_B}{\sqrt{\beta^2 + \alpha^2}}, \quad (8)$$

$$\varphi = \varphi_B + \varphi_\gamma \text{ або } \varphi = \varphi_B - \varphi_\gamma, \quad (9)$$

де φ_B й φ – кути хвильового опору й опору рейок відповідно.

Даний метод дає гарні результати при лінійному ОІБ або невеликій його нелінійності.

Розглянемо метод двох відомих навантажень більш докладно. Відповідно до методу проводяться вимірювання в нормальному режимі РК, що навантажуються на за-

здаlegідь відомі навантаження R_{H1} й R_{H2} . Звідси можемо записати дві системи рівнянь:

$$\begin{cases} U_1' = U_2' \operatorname{ch} \gamma l + I_2' Z_B \operatorname{sh} \gamma l \\ I_1' = I_2' \operatorname{ch} \gamma l + \frac{U_2'}{Z_B} \operatorname{sh} \gamma l \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} U_1'' = U_2'' \operatorname{ch} \gamma l + I_2'' Z_B \operatorname{sh} \gamma l \\ I_1'' = I_2'' \operatorname{ch} \gamma l + \frac{U_2''}{Z_B} \operatorname{sh} \gamma l \end{cases}, \quad (11)$$

де величини I_1' , I_2' , U_1' , U_2' , які вимірюються при R_{H1} , а I_1'' , I_2'' , U_1'' , U_2'' – при R_{H2} .

Звідси маємо, що вхідний опір рівняється

$$Z_1' = \frac{U_1'}{I_1'} = \frac{R_{H1} + Z_B \operatorname{th} \gamma l}{1 + \frac{R_{H1}}{Z_B} \operatorname{th} \gamma l}, \quad (12)$$

$$Z_1'' = \frac{U_1''}{I_1''} = \frac{R_{H2} + Z_B \operatorname{th} \gamma l}{1 + \frac{R_{H2}}{Z_B} \operatorname{th} \gamma l}. \quad (13)$$

де Z_1' и Z_1'' – вхідний опір при R_{H1} й R_{H2} відповідно.

Вирішуючи рівняння (12) і (13) щодо невідомих хвильового опору Z_B й гіперболічного тангенсу від γl , одержимо:

$$Z_B = \pm \sqrt{\frac{Z_1'' Z_1' \Delta R_H - R_{H2} R_{H1} (Z_1'' - Z_1')}{(R_{H2} - R_{H1}) - (Z_1'' - Z_1')}}, \quad (14)$$

$$\operatorname{th} \gamma l = \frac{Z_B (R_{H1} - Z_1')}{R_{H1} Z_1' - Z_B^2} = Te^{j\varphi_l}, \quad (15)$$

де $\Delta R_H = (R_{H2} - R_{H1})$.

На підставі формул (3) – (6) або (3), (4), (7) – (9) знаходимо R_{iz} й Z_p .

Даний метод має перевагу в тому, що його точність вимірювань практично не залежить від нелінійності баласту, його недолік – велика кількість складних обчислень.

Метод електрично довгої лінії припускає, що опори холостого ходу й короткого замикання рівні, а значить вхідний опір дорівнює хвильовому. Вимірявши Z_B й вхідний

опір рейкової лінії, при короткому замиканні на відстані l від місця вимірювання, можна визначити

$$Te^{j\varphi_l} = \operatorname{th} \gamma l = \frac{Z_l}{Z_B}. \quad (16)$$

На підставі формул (3) – (6) або (3), (4), (7) – (9) знаходимо R_{iz} й Z_p .

Даний метод найкраще підходить для вимірювань первинних параметрів ТРК, однак має недоліки методу хх і кз.

Всі вищезрозглянуті методи вимірювань опорів ізоляції баласту R_{iz} й рейки Z_p припускали наявність в електромеханіка амперметра й вольтметра, але згідно ТК № 40 для вимірювання величини ОІБ можна використовувати вимірювач опору баласту типу ИСБ-1.

Принцип вимірювання приладом заснований на тому, що при високій частоті струму (декілька кілогерц) фізична довжина електрично довгої лінії досить незначна. У цьому випадку може виявитися, що по обидва боки від місця вимірювань будуть електрично довгі лінії. Тоді вхідний опір у місці вимірювань буде дорівнювати половині хвильового опору

$$Z_{BX} = 0,5 \cdot Z_B.$$

У приладі розташований генератор, який виробляє струм частотою 5000 Гц, і резистор, включений послідовно з генератором. Внутрішній опір генератора разом з опором резистора значно вище вхідного опору РК, тому при підключенні приладу ИСБ-1 навіть при найбільш низькому опорі ізоляції струм на виході генератора залишається постійним. При цьому між точками підключення приладу до рейок з'являється напруга, пропорційна напрузі на навантаженні $0,5R$. Через захисний фільтр і трансформатор ця напруга подається на індикатор. За показниками індикатора, користуючись спеціальною таблицею, визначають питомий опір ізоляції рейкового кола.

Прилад вимірює опір ізоляції на ділянці довжиною від 250 м до 300 м у межах повної довжини РК. За отриманим значенням цих вимірювань знаходять ділянку рейкового кола зі зниженим опором ізоляції.

Після всіх вимірювань визначають середнє значення опору ізоляції РК R_{iz} в Ом км:

$$R_{iz} = \frac{n}{\frac{1}{R_{и1}} + \frac{1}{R_{и2}} + \dots + \frac{1}{R_{ин}}},$$

де n – кількість вимірювань; $R_{ин}$ – показання приладу в точках вимірювання, Ом км.

За даним методом вимірювання отримуємо величину опору ізоляції рейкового кола R_{iz} з точністю $\pm 10\%$, що для близьких до нормативного значення ОІБ 1 Ом км може сильно вплинути на регулювання даного рейкового кола. При цьому передбачається, що опір рейки незмінний (нормативна величина), а на практиці це може виявитися далеко не так. Крім того, точність вимірювань приладом ИСБ залежить від кількості вимірів.

Однак при експлуатації рейкових кіл опір ізоляції баласту R_{iz} приймають активною величиною, а опір рейки – нормативним, як в останньому методі вимірювань.

Таким чином, жоден з розглянутих методів вимірювань опорів ізоляції баласту R_{iz} й рейки Z_p повністю не задовольняють вимогам за простотою застосування й обчислення величин, тому що в розрахункових виразах різниці величин близькі одна до одної, що приводить до значних погрешностей (обчислення гіперболічного тангенса від γ може виявитися неможливим, якщо $\gamma \geq 1$). Тому пропонується використовувати метод, що дозволяє виміряти опір рейки, а потім розрахувати величину ОІБ. Для цього можна зробити коротке замикання на відстані 50 м від джерела живлення рейкового кола й виміряти напругу U й струм I , при цьому частиною струму, що відгалужується через баласт і шпали, можна не враховувати, тоді

$$|Z_p| = \frac{|U|}{|I| \cdot 0,05}.$$

Далі за одним із трьох перших методів визначення R_{iz} й Z_p знаходимо хвильовий опір. Після одержуємо величину ОІБ за формулою (6) з урахуванням виразу (5).

Запропонований метод вимірювань параметрів рейкових кіл дозволить із достатнім ступенем точності вимірювань за рахунок вимірювання реального опору рейок для конкретної РК одержати R_{iz} й Z_p , але вимагає експериментальної перевірки.

Висновки

Аналіз відмов рейкових кіл і існуючих методів контролю стану РК для розробки на цій основі методів і засобів автоматизованого контролю параметрів РК.

Аналіз методів вимірювання параметрів рейкових кіл (R_{iz} й Z_p) показав, що із достатнім ступенем точності вимірювань визначити данні параметри можливо методом одного короткого замикання на певній відстані від живлячого кінця РК з наступним розрахунком за x і kz , двох kz . Підвищення точності вимірювань параметрів рейкових кіл досягається за рахунок вимірювання реального опору рейок для конкретної РК.

Бібліографічний список

1. Казиев, Г. Д. Повышать надежность рельсовых цепей [Текст] / Г. Д. Казиев, В. М. Адашкин // Автоматика, телемеханика и связь. – 2006. – № 4. – С. 2-5.
2. Мороз, В. П. Аналіз відмов пристроїв залізничної автоматики [Текст] / В. П. Мороз, А. О. Лапко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – № 2(64). – С. 10-15.
3. Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування ЦШ/0042 [Текст]. – К., 2006. – 462 с.
4. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних кіл. – ЦШ/0041 [Текст]. – К., 2006. – 236 с.
5. Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦШЕОТ/0012 [Текст]. – К., 1998. – 72 с.
6. Дмитренко, И. Е. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / И. Е. Дмитренко, В. В. Сапожников, Д. В. Дьяков. – М: Транспорт, 1994. – 263с.

Ключові слова: рейкові кіла, аналіз відмов, методи контролю стану рейкових кіл, вимірювання параметрів, автоматизований контроль параметрів.

Ключевые слова: рельсовые цепи, анализ отказов, методы контроля состояния рельсовых цепей, измерение параметров, автоматизированный контроль параметров.

Key words: railway circuit, the analyses of refusal, methods of control of railway circuit, measurement of parameters, automatic control of parameters.

Надійшла до редколегії 29.11.2010.

Прийнята до друку 30.11.2010.

