

УДК 681.586.7:625.162

*О.В. Кіба, В.О. Сотник,  
канд. техн. наук С.В. Кошевий*

**ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ  
КОЛІЙНИХ І ЛОКОМОТИВНИХ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИКИ  
НА ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЯХ**

*Представив д-р техн. наук, професор М.М. Бабаєв*

**Вступ.** У системах залізничної автоматики (ЗА) в якості неперервних колійних перетворювачів для контролю стану колійних ділянок найбільшого розповсюдження отримали електричні рейкові кола (РК). Але таке технічне

рішення контролю стану колійних ділянок поруч з низкою суттєвих переваг перед іншими способами контролю має також ряд і суттєвих недоліків [1, 2].

**Постановка проблеми.** РК мають значну кількість різновидів, пов'язану з умовами їхнього використання:

- станційні та перегінні;
- використовується на залізничній дільниці тяга поїздів (автономна, електротяга постійного, змінного струму, ділянки стикування двох видів тяги);
- спосіб каналізації зворотного тягового струму та ін.

Це вимагає широкої номенклатури апаратури релейних і живильних кінців РК та значної кількості й номенклатури кабельної продукції. У свою чергу це призводить до складності її обліку й відновлення, обладнання ремонтно-технологічних дільниць (РТД) відповідною діагностичною та ремонтною базою, високої кваліфікації персоналу, що обслуговує РК в експлуатації, і працівників РТД.

РК, як інструмент контролю стану ділянок колії (вільно/зайнято), мають також ряд суттєвих недоліків, що обмежують можливості та знижують ефективність їхнього безальтернативного використання. До таких недоліків можна віднести:

- динамічний режим шунтування рейкової лінії (РЛ) колісними парами рухомого складу;
- суперечливі умови функціонування РК у різних режимах роботи;
- суттєвий вплив на електричні параметри РЛ погодних умов, механічного та хімічного забруднення верхньої будови колії;
- низькі показники надійності за рахунок електричного пробоя та сходу ІС, обриву стикових з'єднувачів, перемичок від дросель-трансформаторів (ДТ) або колійних коробок і т. п..

Це, як відомо, ускладнює процеси регулювання параметрів РК в межах допустимих норм і можливості використання РК при підвищеній електричній провідності баласту та шпал, призводить до відмов РК.

При організації прискореного та швидкісного руху поїздів ускладнюються умови надійного функціонування локомотивних пристроїв АЛСН при проходженні поїздом горловин станцій з відносно короткими ізолюваними секціями [3].

Наведені фактори негативно впливають як на ефективність, так і безпеку перевізного процесу, підвищують експлуатаційні витрати господарств колійного, енергопостачання, сигналізації та зв'язку на догляд за верхньою будовою колії та інші роботи з підтримки РК у працездатному стані.

**Аналіз досліджень та публікацій, основні передумови розробки.** За щорічною статистикою розподілу відмов у роботі всіх пристроїв ЗА залізниць України, кількість відмов, що припадає на РК, складає від 14 до 21 % їхньої загальної кількості. При цьому половина відмов РК припадає на ізолюючі стики (ІС). Для каналізації зворотного тягового струму на електрифікованих залізничних лініях наявність ІС обумовлює також застосування ДТ, які мають достатньо високу вартість і разом з дросельними перемичками часто є предметами розкрадань сторонніми особами.

ІС стають потенційними джерелами електромагнітних завад і причинами збоїв у роботі локомотивних пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації (АЛСН) при безупинному проходженні поїздом залізничних станцій на швидкості, що перевищує 95-100 км/год (рис. 1). Чим вище швидкість, тим більш потужні завади з більш широким частотним спектром, тим більше збоїв спостерігається в роботі АЛСН.

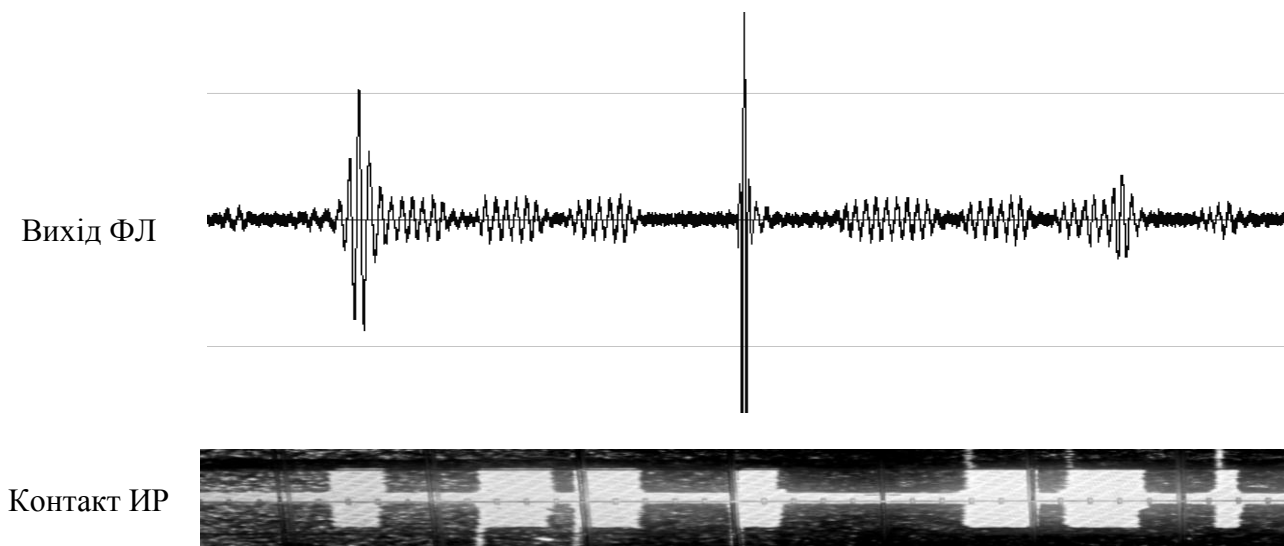


Рис. 1. Епюра напруги сигналів АЛСН на виході ФЛ та осцилограма роботи реле ИР на виході приймача УК

У багатьох випадках альтернативою РК можуть служити системи контролю зайнятості ділянок колії методом рахунку осей рухомого складу (СКЗД). Наприклад, системи рахунку осей фірми Siemens експлуатуються на залізничних лініях, у тому числі й високошвидкісних, більше ніж у 50 країнах світу. На залізницях Російської Федерації в системах ЗА використовується електронна система рахунку осей ЭССО, яка добре зарекомендувала себе в умовах експлуатації.

Багаторічний досвід експлуатації СКЗД на зарубіжних залізницях показує високу функціональну безпеку та надійність роботи СКЗД при використанні такого способу контролю стану колійних ділянок. Але поруч із суттєвими перевагами порівняно з електричними рейковими колами СКЗД також мають свої недоліки:

- неможливість організації ними в пристроях АЛСН каналів передачі сигнальної інформації з колії на локомотив;
- відсутність контролю поперечного зламу рейок.

**Мета роботи.** Пошук технічних рішень гармонійного поєднання переваг методу рахунку осей (відсутність ізолюючих стиків, ДТ, єдиний

уніфікований набір колійної апаратури, низькі експлуатаційні витрати на обслуговування і ремонт, відсутність технічного обслуговування в РТД, експлуатація до виявлення невідновлюваної відмови, будь-яка конфігурація розгалужених колійних ділянок без обмеження в ній кількості стрілок) та електричних РК (можливість контролю поперечного зламу рейок, організація неперервного каналу передачі кодових сигналів АЛСН з колії на локомотив).

**Одноритковий план горловини станції з пунктами рахунку осей і ТРК накладання.** Для підвищення ефективності функціонування станційних систем централізації, покращання умов пропускання по рейках зворотного тягового струму при виконанні вимог до розбиття колійних ділянок на ізольовані секції, зменшення короткочасних збоїв пристроїв АЛСН при безупинному проходженні поїздом горловин станцій на підвищеній швидкості можуть бути запропоновані такі технічні рішення, що усувають ряд окремих недоліків існуючих систем ЕЦ з використанням РК для контролю стану колійних ділянок (на рис. 2, а контроль стану колійних ділянок станції здійснюється за допомогою електричних РК).

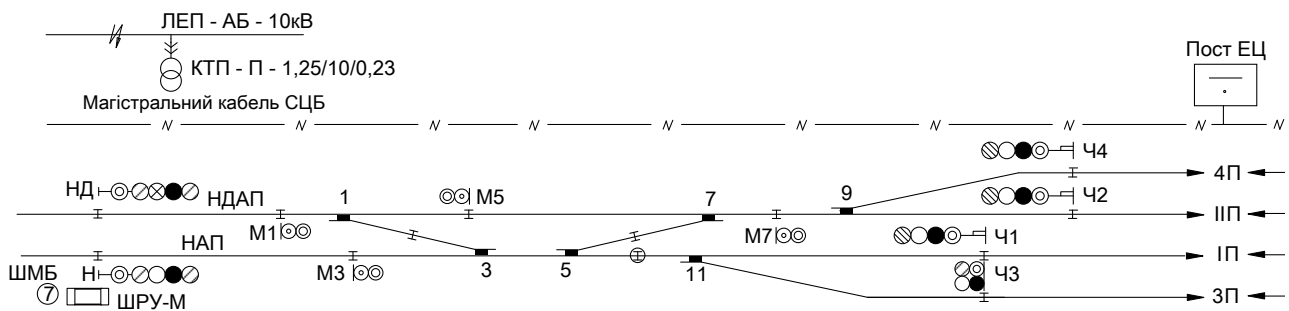
Для контролю стану колійних ділянок у горловині станції використана СКЗД на основі рахунку осей з колійними пунктами зчитування (ПС). СКЗД без будь-яких обмежень може експлуатуватися на станціях і перегонах при будь-якому виді локомотивної тяги поїздів. Вона рекомендується до використання при неможливості або економічній недоцільності використання РК. Для всіх варіантів функціонування СКЗД можуть бути використані однакові універсальні базові апаратні вузли системи з відповідним доопрацьованим під конкретні задачі програмним забезпеченням [3].

На відміну від РК, використання точкових колійних датчиків не дозволяє

контролювати цілісність рейок. Тому можливе сумісне (комбіноване) використання пристроїв рахунку осей і ТРК. Ділянки між вхідними світлофорами та приймально-відправними коліями обладнуються розгалуженими ТРК (рис. 2, б). Колії головного ходу ізольовані одна від одної та від бокових колій ІС, які встановлюються лише біля вхідних і вихідних світлофорів, а по головному ходу в горловинах станції ізолюючі стики встановлюються на диспетчерських з'їздах для виключення попадання кодових струмів АЛСН з однієї головної колії на другу при реалізації в горловині станції одночасно маршрутів приймання та відправлення.

а)

Назва світлофору	± НД	M1	M3	M5	M7	Ч1 Ч3	Ч4 Ч2
Ордината світлофору	987	764	728	700	540	528	463 440
Номер стрілки		1		3	5	11 7	9
Ордината стрілки		761		667	636	590 543	524



б)

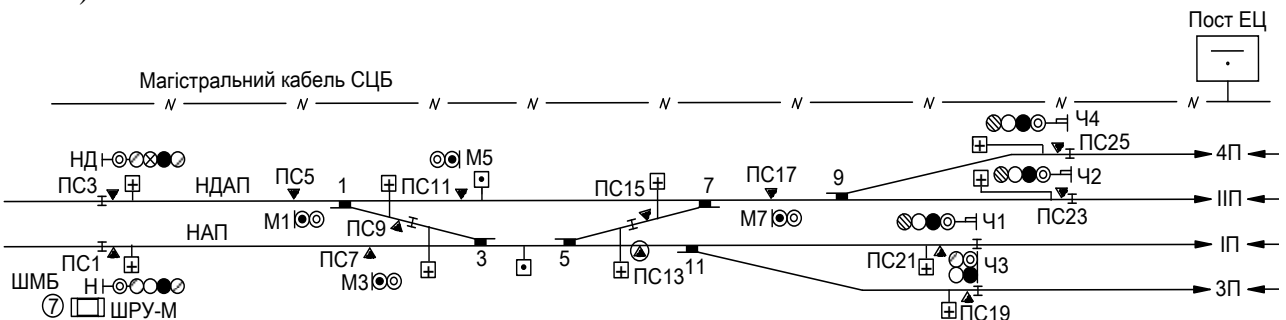


Рис. 2. Однотроковий план горловини станції з контролем стану колійних ділянок: а – РК з ізолюючими стиками; б – рахунковими пунктами на базі ТКД і ТРК накладання для контролю зламу рейок і кодування поїзних маршрутів сигналами АЛСН

Встановлені на коліях головного ходу станції колійні ПС призначені для контролю стану колійних ділянок у межах горловин станції (рис. 2, б), а розгалужені ТРК – для цілісності рейок і забезпечення кодування колійних секцій чи безстиків словим кодом АЛСН (рис. 3). До складу розгалужених ТРК непарної горловини станції входять і колійні ділянки, стан яких контролюється пристроями рахунку осей:

– ТРК *НАП-11СП* включає колійні ділянки *НАП* (ПС1 – ПС7), *3-5СП* (ПС7 – ПС9 – ПС13 – ПС15), *11СП* (ПС13 – ПС19 – ПС21);

– ТРК *9СП-НДАП* включає колійні ділянки *9СП* (ПС17 – ПС23 – ПС25), *7СП* (ПС11 – ПС15 – ПС17), *1СП* (ПС5 – ПС9 – ПС11), *НДАП* (ПС3 – ПС5).

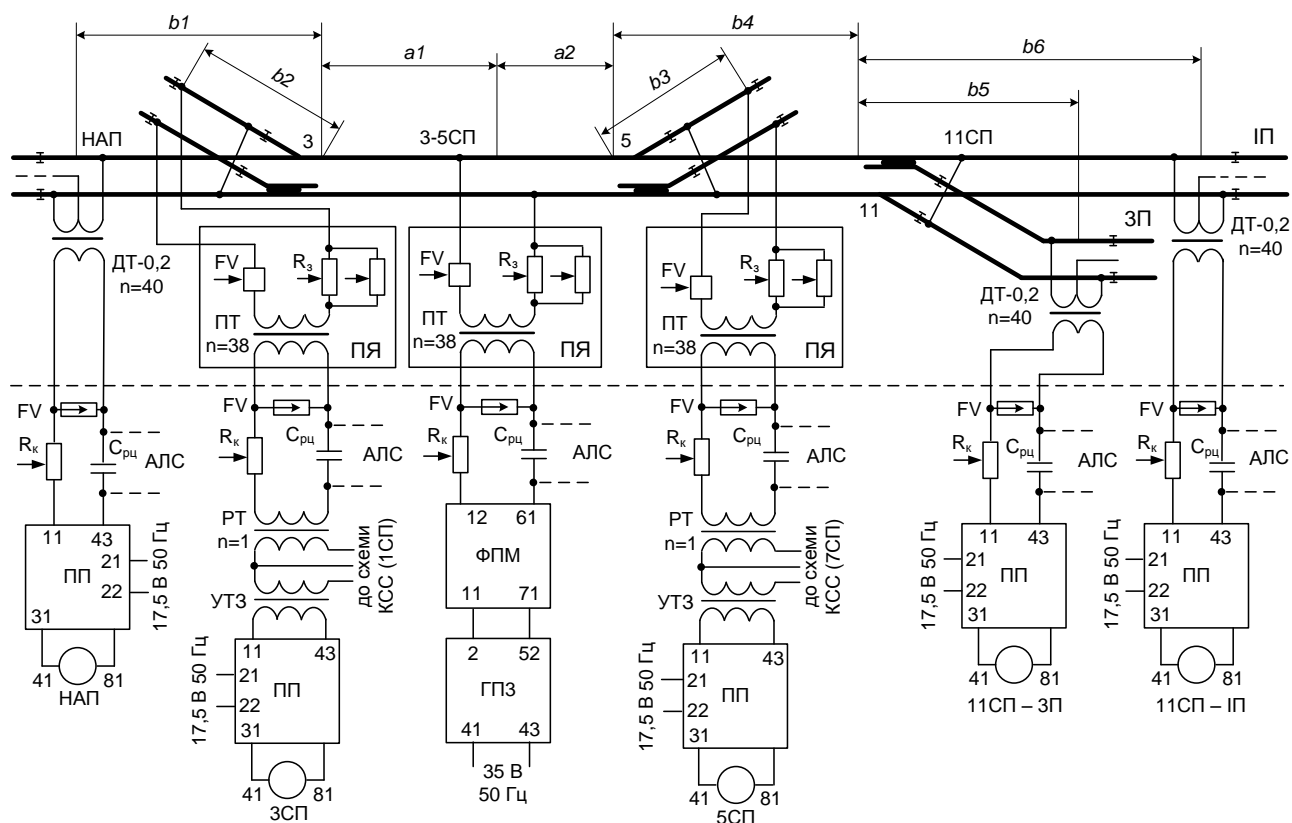


Рис. 3. Схема ТРК накладання головного ходу непарного напрямку руху

Живильні кінці ТРК включено у середині горловин станції. Наприклад, ТРК *НАП-11СП* головного ходу в маршрутах приймання непарної горловини (рис. 2) живиться від генератора ГПЗ, включеного в середині стрілично-колійної ділянки *3-5СП* між стрілками 3 та 5. Релейні кінці розгалужених ТРК розміщені по кінцях головного ходу маршрутів приймання та відправлення, а також на всіх їх відгалуженнях на стрілках. Так, ТРК

*НАП-11СП* має такі довжини елементів РЛ у розгалуженому ТРК від місця підключення генератора ГПЗ до релейних кінців з колійними приймачами ПП<sub>НАП</sub>, ПП<sub>3сп</sub>, ПП<sub>5сп</sub>, ПП<sub>11сп-3п</sub>, ПП<sub>11сп-іп</sub>:

–  $a1 = a2 = 15$  м – довжини РЛ відповідно від стрілок 3 та 5 до місця підключення генератора ГПЗ до колії;

–  $b1 = 320$  м,  $b2 = 46$  м – довжини паралельно розгалужених РЛ відповідно від стрілки 3 до ізолюючих стиків у вхідного

світлофора Н та ізолюючих стиків відгалуження спареної стрілки 1/3;

–  $b3 = b4 = 46$  м – довжини паралельно розгалужених РЛ відповідно від стрілки 5 до ізолюючих стиків відгалуження спареної стрілки 5/7 та стрілки 11;

–  $b5 = b6 = 62$  м – довжини паралельно розгалужених РЛ відповідно від стрілки 11 до ізолюючих стиків у вихідних сигналів ЧЗ колії ЗП та ЧІ колії ПП.

Таке включення розгалуженого ТРК обумовлює використання його лише в

нормальному та контрольному режимах. У зв'язку з різною довжиною РЛ паралельних відгалужень для надійного функціонування колійних приймачів ТРК накладання необхідно виконати узгодження вхідних опорів відгалужень РЛ між собою. Так, на вході колійних приймачів ЗСП та СП (рис. 3, 4) включені узгоджуючі трансформатори УТЗ, які також виконують додаткову функцію контролю справності ІС на диспетчерських з'їздах 1/3 та 5/7.

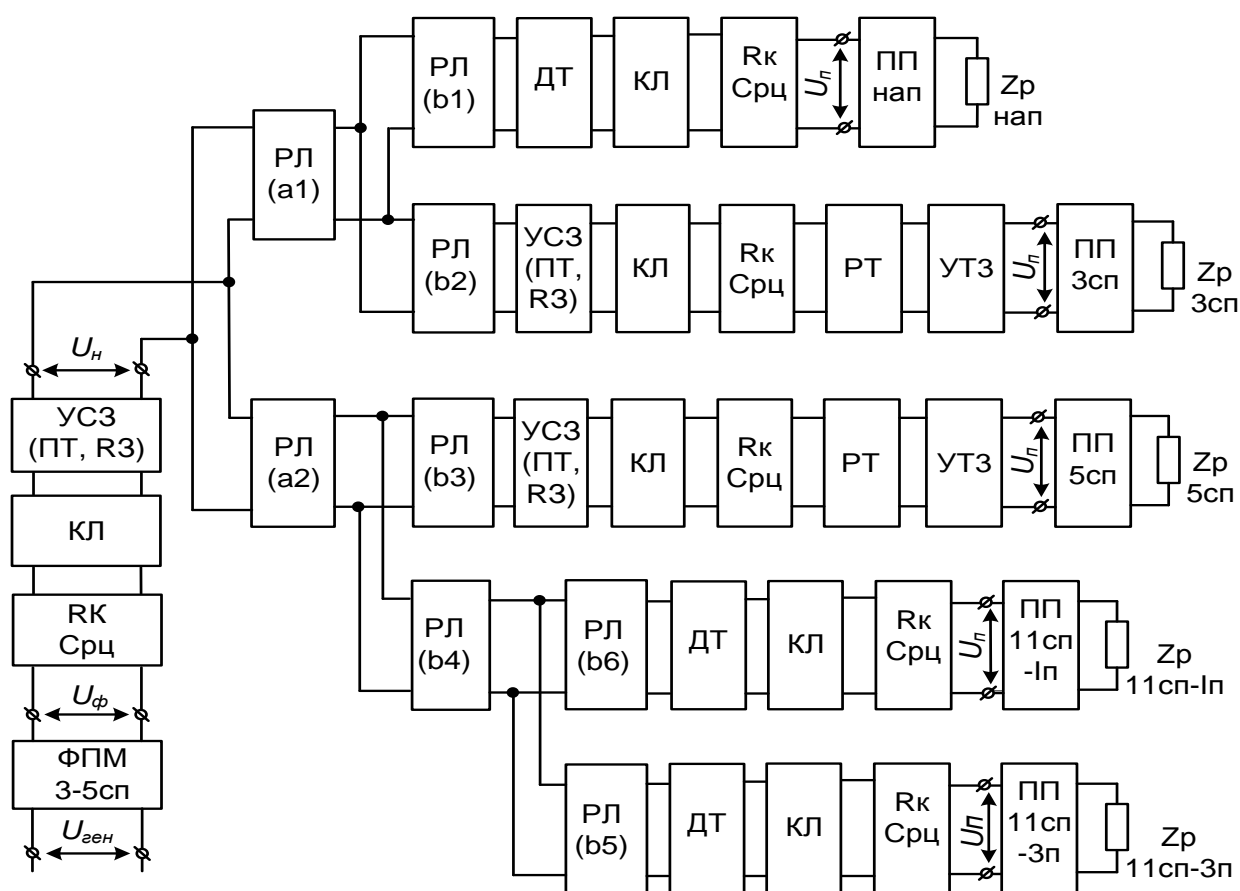


Рис. 4. Схема заміння ТРК стрілично-колійної секції НАП-11СП

**Дослідження функціонування розгалуженого ТРК накладання.** РК, як складний тракт передачі сигнальної інформації, може бути представлений електричною схемою заміння, яка складається з касадно з'єднаних чотиріполюсників (ЧП) з відповідними

(А)-параметрами, що визначаються окремими структурними складовими, що входять до схеми ТРК. На початку та кінці касадно з'єднаних ЧП включені джерело живлення та колійне реле.

Для вибору місця підключення до рейок колійного генератора з метою

забезпечення надійного функціонування розгалуженого ТРК у нормальному режимі повинні бути виконані такі умови:

– сумарні довжини кожного з відгалужень відносно місця підключення генератора повинні приблизно дорівнювати одне одному і не перевищувати 1000 м, тобто

$$(a1+v1+v2) \approx (a2+v3+v4+v5+v6) \leq 1000 \text{ м};$$

– еквівалентні вхідні опори двох пліч навантаження на колійний генератор повинні приблизно дорівнювати одне одному з метою їхнього рівномірного

навантаження на генератор і розтікання по плечах від генератора однакових струмів;

– умова приблизно однакових вхідних опорів ЧП повинна дотримуватися у будь-яких місцях їхнього паралельного з'єднання (розгалуження на стрілках).

При каскадному з'єднанні будь-який ЧП характеризується матрицею (А)-параметрів з коефіцієнтами А, В, С, D, які в ЧП зв'язують між собою вхідні ( $\dot{U}_1, \dot{I}_1$ ) і вихідні ( $\dot{U}_2, \dot{I}_2$ ) напруги та струми в матричній формі (системі рівнянь):

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A \cdot \dot{U}_2 + B \cdot \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = C \cdot \dot{U}_2 + D \cdot \dot{I}_2 \end{cases} \quad (1)$$

Значення коефіцієнтів А, В, С, D визначаються внутрішньою структурою ЧП та електричними параметрами елементів цієї структури (для проведення розрахунків довідкові дані коефіцієнтів ЧП та електричні параметри елементів, що входять до складу ТРК, наведені, наприклад, у роботах [4, 5]). При каскадному з'єднанні кількох ЧП

узагальнені (А)-параметри еквівалентного ЧП знаходяться шляхом перемноження матриць (А)-параметрів всіх ЧП у послідовності їх включення в тракт передачі від джерела живлення до навантаження. Наприклад, для ділянки НАП узагальнений ЧП визначається таким чином:

$$\begin{pmatrix} A_{НАП} & B_{НАП} \\ C_{НАП} & D_{НАП} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{РЛ} & B_{РЛ} \\ C_{РЛ} & D_{РЛ} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_{ДТ} & B_{ДТ} \\ C_{ДТ} & D_{ДТ} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_{КЛ} & B_{КЛ} \\ C_{КЛ} & D_{КЛ} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A_{RC} & B_{RC} \\ C_{RC} & D_{RC} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

При відомих (А)-параметрах ЧП, що входять у схему заміщення (рис. 4), розрахунки напруг на входах колійних приймачів  $U_i$  дозволяють визначити працездатність схеми (рис. 3) у нормальному режимі. Тобто за відсутності поїзда на ділянці НАП-ІІСП всі п'ять колійних реле повинні бути під струмом. Знеструмлений стан окремих колійних реле за наявності рухомого складу на ділянці НАП-ІІСП сприймається як звичайне шунтування РЛ колісними парами рухомого складу, але стан колійних ділянок визначається при

цьому не колійними реле ТРК, а СКЗД. Якщо після проходження поїзда по горловині станції і звільнення колійних секцій або в будь-який довільний час окремі реле залишаються знеструмленими або знеструмлюються, то це за рахунок порушення цілісності електричного кола може означати будь-яку відмову ТРК, у тому числі і злам рейки.

Критерієм контрольного режиму є коефіцієнт чутливості до пошкодженої рейки, який обчислюється при критичному наборі основних параметрів (найкращих

умов для передачі сигналів) для цього режиму:

$$K_{КП} = \frac{U_{ППОТ}}{U_{ППКФ}} \geq 1, \quad (3)$$

де  $U_{ППКФ}$  – фактична напруга на вході колійного приймача при обриві рейкової нитки і найкращих умовах для передачі сигналу.

Розглянемо функціонування ТРК при зламі рейки на відгалуженні стрілки 3 на відстані 35 м від живлячого кінця (початку секції) і на головному ходу між стрілками 5 та 11 (на відстані 25 м від стрілки 5). Тобто розрахуємо режими роботи і визначимо стан колійних реле схеми заміщення ТРК за умови поодинокого поперечного зламу рейки на відгалуженні стрілки 3 та на ділянці колії між стрілками 5 та 11.

Коефіцієнти ЧП при зламі рейки, наприклад на ділянці ЗСП, визначаються такими рівняннями:

$$\left. \begin{aligned} A_{ЗСП} &= ch(\gamma l) + \left[ (S_1 + S_2) E \sqrt{1 + 2m} \right] ch(\gamma x) sh(\gamma(l - x)) \\ B_{ЗСП} &= Z_v \left[ sh(\gamma l) + \left[ (S_1 + S_2) E \sqrt{1 + 2m} \right] ch(\gamma x) ch(\gamma(l - x)) \right] \\ C_{ЗСП} &= \frac{\left[ sh(\gamma l) + \left[ (S_1 + S_2) E \sqrt{1 + 2m} \right] sh(\gamma x) sh(\gamma(l - x)) \right]}{Z_v} \\ D_{ЗСП} &= ch(\gamma l) + \left[ (S_1 + S_2) E \sqrt{1 + 2m} \right] sh(\gamma x) sh(\gamma(l - x)) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де  $l$  – довжина РЛ;

$S_1, S_2$  – схемні коефіцієнти, що враховують наявність ДТ;

$x$  – відстань від живлячого кінця до місця обриву;

$E$  – коефіцієнт земляного тракту;

$m$  – коефіцієнт поверхневої провідності.

З урахуванням зламу рейки в РЛ визначають (A)-параметри загальної матриці еквівалентного ЧП

$A_{ЗСП}^3, B_{ЗСП}^3, C_{ЗСП}^3, D_{ЗСП}^3$ . Знаючи фактичну напругу живлення ТРК, що отримана при розрахунку нормального режиму, визначається напруга на вході колійного приймача в контрольному режимі:

$$\dot{U}_{ППКФ} = \frac{\dot{U}_{\Phi MAX}}{A_{ЗСП}^3 + B_{ЗСП}^3 / Z_{ПП}} \cdot \quad (5)$$

Отриману напругу порівнюють з максимально дозвільною  $U_{ППОТ}$  для визначення виконання вимоги (3).

Результати розрахунків функціонування розгалуженого ТРК у нормальному режимі та у контрольному режимі при зламі рейки на відгалуженні ЗСП і ділянці колії головного ходу між стрілками 5 та 11, які отримані з використанням математичного пакета MathCAD, зведені в таблицю.



Розрахункові дані функціонування ТРК за відсутності та наявності зламу рейок

Найменування ділянки колії	Довжина відгалуження, м	Місце зламу рейки, м	Напруга на колійному приймачі, В	Коефіцієнт чутливості до зламаної рейки
<b>1. Відсутність зламу рейок головного ходу та відгалужень непарної горловини</b>				
НАП	335 (a1+b1)	–	0,393	0,891
ЗСП	61 (a1+b2)	–	0,752	0,466
5СП	61 (a2+b3)	–	0,884	0,396
11СП – III	123 (a2+b4+ b6)	–	0,53	0,661
11СП – ЗП	123 (a2+b4+ b5)	–	0,53	0,661
<b>2. Злам рейки на відгалуженні стрілки 3</b>				
НАП	335 (a1+b1)	–	1,918	0,182
ЗСП	61 (a1+b2)	35 м від гостряків	0,001191	<b>293,96</b>
5СП	61 (a2+b3)	–	0,884	0,396
11СП – III	123 (a2+b4+ b6)	–	0,53	0,661
11СП – ЗП	123 (a2+b4+ b5)	–	0,53	0,661
<b>3. Злам рейки на ділянці колії між стрілками 5 та 11</b>				
НАП	335 (a1+b1)	–	0,393	0,891
ЗСП	61 (a1+b2)	–	0,752	0,466
5СП	61 (a2+b3)	–	1,083	0,323
11СП – III	123 (a2+b4+ b6)	23 м від стрілки 5	0,001318	<b>265,564</b>
11СП – ЗП	123 (a2+b4+ b5)		0,001318	<b>265,524</b>

**Висновки.** На сьогодні час використання ТКД є привабливим альтернативним рішенням використанню РК для контролю стану колійних ділянок на станціях і перегонах магістрального, а особливо промислового, залізничного транспорту. Поряд з окремими недоліками, СКЗД методом рахунку осей мають низку достатньо вагомих експлуатаційно-технічних переваг перед РК:

1. Зменшення кількості ізолюючих стиків по головних коліях у горловинах станцій значно зменшує кількість збоїв у роботі АЛСН при безупинному проходженні поїздами станцій на підвищеній швидкості.

2. Використання на головних коліях горловини станції ТРК накладання дозволяє від точок підключення ТРК до рейкової лінії здійснювати кодування

сигналами АЛСН більш подовжених секцій.

3. При ліквідації ізолюючих стиків зменшується кількість колійного обладнання, знижуються матеріальні витрати на його обслуговування за рахунок «зміцнення» колії фізично (верхньої будови колії) та електрично (за відсутністю дросель-трансформаторів і перемичок від них до рейок спрощуються умови каналізації зворотного тягового струму).

4. Використання ТРК накладання зі значною кількістю відгалужень лише для роботи в нормальному та контрольному режимах дозволяє в умовах спрощеного налаштування ТРК фіксувати порушення цілісності РЛ.

5. Результати проведених розрахунків показують, що коефіцієнт чутливості до пошкодженої рейки  $K_{КП}$  в обраних при

моделюванні місцях горловини станції значно перевищує одиницю і дозволяє це чітко фіксувати відповідними знеструмленими колійними реле. Так, згідно з результатами розрахунків (таблиця), при зламі рейки на відгалуженні

стрілки 3 та ділянці колії між стрілками 5 та 11, для ділянки, що контролюється колійним реле ЗСП,  $K_{КП} = 293,96$ , а для ділянок з 11СП-3П та 11СП-ІП  $K_{КП}$  становить відповідно 265,524 та 265,564.

### Список літератури

1. Інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації й блокування (СЦБ). ЦШ– 0060 / Наказ № 090 – ЦЗ від 07. 10. 2009. – К, 2009.
2. Система контролю участків пути методом счёта осей (ЭССО). Технология обслуживания. ТО 00204-0900-1 (Утв. ЦШ МПС 15.06.2001).
3. Соболев, Ю.В. Дослідження умов роботи локомотивних пристроїв АЛС при безупинному проходженні поїзда через станцію [Текст] / Ю.В. Соболев, С.В. Кошевий, М.С. Кошевий, С.М. Бібіков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009.-№ 1 (74).- С. 32 – 43.
4. Аркатов, В.С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст]: справочник / В.С. Аркатов, Ю.В. Аркатов, С.В. Казеев, Ю.В. Ободовский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. «ООО Миссия-М», 2006. – 496 с.
5. Кулик, П.Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надёжности [Текст] / П.Д. Кулик, Н.С. Ивакин, А.А. Удовиков. – К.: Издательский дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.

**Ключові слова:** контроль зайнятості ділянок колії, метод рахунку осей, точковий колійний датчик, тональне рейкове коло, режим роботи рейкового кола, коефіцієнт чутливості до пошкодженої рейки.

### Анотації

Для залізничних станцій досліджена можливість гармонійного поєднання переваг систем контролю стану колійних ділянок методом рахунку осей і розгалужених тональних рейкових кіл накладання. Використання точкових колійних датчиків дозволяє усунути в горловинах по головному ходу ізолюючі стики. За допомогою розгалужених тональних рейкових кіл, що налаштовані на нормальний і контрольний режими функціонування, здійснюється контроль зламу рейок і кодування поїзних маршрутів сигналами АЛСН.

Для железнодорожных станций исследована возможность гармоничного сочетания преимуществ систем контроля состояния путевых участков методом счёта осей и разветвлённых тональных рельсовых цепей наложения. Использование точечных путевых датчиков позволяет убрать в горловинах по главному ходу изолирующие стыки. С помощью разветвлённых тональных рельсовых цепей наложения, настроенных на нормальный и контрольный режимы функционирования, осуществляется контроль излома рельсов и кодирование поездных маршрутов сигналами АЛСН.

For railway stations investigated the possibility of a harmonious union of the benefits of monitoring track sections counting method branched axes and tonal overlay track circuits. The use

of point sensors can travel away in the throat on the main course of the insulating joints. With branched tone overlay track circuits tuned to the normal modes of operation and control, monitored knee rails and coding signals ALSN train paths.