

УДК656.25

РОМАНЦЕВ І.О., к.т.н., доцент (ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна);  
БОНДАРЕНКО Б.М., к.т.н., доцент (ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна);  
МОЗОЛЕВИЧ Г.Я., к.т.н., доцент (ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна).

## **Діагностування стану рейкового кола тональної частоти**

---

### **Вступ**

---

Для об'єктивного моніторингу стану систем необхідно знати її якісний стан, що дозволить збільшити ефективність, надійність та безпеку роботи апаратури залізничної автоматики. У процесі експлуатації діагностування вирішує проблему визначення стану об'єкта в майбутньому й у минулому (проблеми прогнозу й генеза). Прогноз стану об'єкта підвищує його безвідмовність і якість експлуатації систем, заснованих на роботі даного об'єкту. Вирішення проблеми генеза, у свою чергу, необхідно для збору статистичних даних, аналізу надійності об'єкта, визначення причин несправностей при виникненні різних подій.

---

### **Мета дослідження**

---

У роботі пропонується розробити математичну модель для визначення стану тонального рейкового кола (ТРК), а також визначити електричні параметри, які підлягати подальшому статистичному обліку.

---

### **Граф станів та векторів переходів об'єкта діагностування**

---

Тональне рейкове коло являє собою технічний об'єкт з можливістю централізованого розміщення апаратури, частина якого експлуатується в різних погоднокліматичних умовах під впливом зовнішніх електромагнітних сигналів, фізичних деформаційних сил, корозійних впливів. при визначенні станів тонального рейкового кола перш за все необхідно керуватись певними режимами розрахунку [1, 2]: нормальний, шунтовий, контрольний, АЛСН, короткого замикання. Тоді елементарні стани ТРК як об'єкту діагностування (ОД) будуть наступними:

S1н - рейкове коло справне й працює в нормальному режимі;

S2ш - рейкове коло справне й працює в шунтовому режимі;

S3л - рейкове коло справне й посиляє коди системи локомотивної сигналізації;

S4к - рейкове коло несправне та працює в контрольному режимі;

S5кз – рейкове коло справне, у рейковій лінії коротке замикання на живильному кінці (дозволене КЗ є окремим випадком шунтового режиму[2]).

У зв'язку з тим, що вищевказані стани характеризовані режимами розрахунку рейкового кола, то в реальній експлуатації вони частково спостерігаються разом, що необхідно врахувати: для рейкового кола властива одночасна робота у двох режимах - S2ш і S3л. При наявності елементарного стану S2ш і відсутності S3л у ТРК є присутнім несправність схеми кодування. Остаточню, при урахуванні виконання цих особливостей роботи рейкового кола, його стани будуть мати вигляд:

S1 - відповідає стану S1н;

S2 - РК справне та працює в шунтовому режимі з одночасною посилкою коду АЛСН (об'єднані S2ш і S3л);

S3 - РК несправне, але працездатне, працює в шунтовому режимі, система АЛСН не працює (є присутнім S2ш і відсутній S3л);

S4 - відповідає стану S4к;

S5 - відповідає стану S5кз;

S6 - рейкове коло несправне, певні набори ознак електричних параметрів відповідають відомим відмовам.

Таким чином, при визначенні несправних станів тонального рейкового кола розмежовують несправні стани (S4 та S5) при наявності розриву рейки

або КЗ в РЛ, несправні стани, що відповідають невідомим відмовам або відомим відмовам з визначенням за наборами ознак електричних параметрів (S6), праце-

здатний стан S3 та справні стани S1 та S2, що позначені на графі переходів РК (див. таблиці. 1).

Таблиця 1

Опис станів системи ознаками контролю

| № п/п | Стан | Ознака         |                |                 |                 |                |                |                |                |                |
|-------|------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|       |      | k <sub>1</sub> | k <sub>2</sub> | k <sub>3</sub>  | k <sub>4</sub>  | k <sub>5</sub> | k <sub>6</sub> | k <sub>7</sub> | k <sub>8</sub> | k <sub>9</sub> |
| 1     | S1   | 1              | 1              | k <sub>32</sub> | k <sub>42</sub> | 1              | 1              | 1              | 1              | 0              |
| 2     |      | 1              | 1              | k <sub>33</sub> | k <sub>42</sub> | 1              | 1              | 1              | 1              | 0              |
| 3     |      | 1              | 1              | k <sub>34</sub> | k <sub>42</sub> | 1              | 1              | 1              | 1              | 0              |
| 4     | S2   | 1              | 1              | k <sub>36</sub> | k <sub>44</sub> | 1              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 5     | S3   | 1              | 1              | k <sub>36</sub> | k <sub>44</sub> | 1              | 0              | 1              | 1              | 1              |
| 6     |      | 1              | 1              | k <sub>37</sub> | k <sub>44</sub> | 1              | 0              | 1              | 1              | 1              |
| 7     | S4   | 1              | 1              | k <sub>37</sub> | k <sub>44</sub> | 1              | 1              | 1              | 1              | 0              |
| 8     | S5   | 1              | 1              | k <sub>37</sub> | k <sub>44</sub> | 1              | 1              | 1              | 1              | 0              |
| 9     | S6   | 0              | x              | x               | x               | x              | x              | 1              | x              | x              |
| 10    |      | 1              | 0              | x               | x               | x              | x              | 1              | x              | x              |
| 11    |      | 1              | 1              | k <sub>31</sub> | x               | x              | x              | 1              | x              | x              |
| 12    |      | x              | x              | k <sub>35</sub> | x               | x              | x              | 1              | 1              | x              |
| 13    |      | x              | x              | k <sub>37</sub> | x               | x              | x              | 1              | x              | x              |
| 14    |      | 1              | 1              | k <sub>32</sub> | x               | x              | x              | 1              | x              | 1              |
| 15    |      | 1              | 1              | k <sub>33</sub> | x               | x              | x              | 1              | x              | 1              |
| 16    |      | 1              | 1              | k <sub>34</sub> | x               | x              | x              | 1              | x              | 1              |
| 17    |      | 1              | 1              | k <sub>36</sub> | x               | x              | x              | 1              | x              | 0              |
| 18    |      | x              | x              | x               | k <sub>41</sub> | x              | x              | 1              | x              | x              |
| 19    |      | x              | x              | x               | k <sub>43</sub> | x              | x              | 1              | x              | x              |
| 20    |      | x              | x              | x               | x               | 0              | x              | 1              | x              | x              |
| 21    |      | x              | x              | x               | x               | x              | 0              | 1              | x              | x              |
| 22    |      | x              | x              | x               | x               | x              | x              | 0              | x              | x              |
| 23    |      | x              | x              | x               | x               | x              | x              | x              | 0              | x              |

В таблиці 1 вказані значення: x – змінна може приймати будь-яке значення; k<sub>1</sub>-k<sub>9</sub> – критерії електричних сигналів контрольованих параметрів [3].

У результаті опису станів тонального рейкового кола складений граф переходів з одного стану в інший (рис. 1).

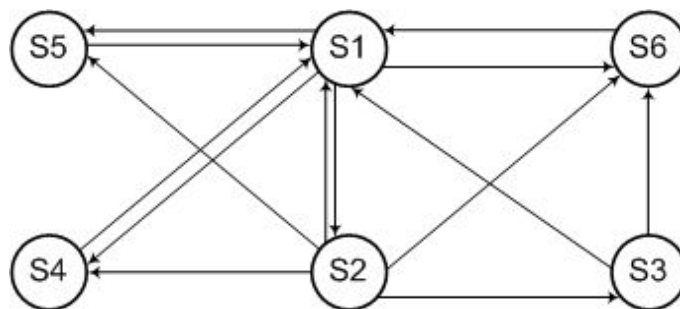


Рис.1. Граф переходів станів тонального рейкового кола

На рисунку 1 не показані вектори переходів  $v_{ij}$ , где  $i$  – номер попереднього стану,  $j$  – номер наступного стану. Граф переходів станів складений з урахування переходу системи в справний стан  $S1$  після усунення несправностей, що обумовлене необхідністю звільнення контрольованої ділянки колії в нормально замкнутому рейковому колі [2]. Для системи контролю основним станом є

$S1$ , тому що в цьому випадку справна система виконує свою головну функцію – контроль вільності ділянки колії (для нормально замкнутих рейкових кіл). Отже, перехід з  $S1$  у будь-який інший стан може здійснюватися як в одну, так і в іншу сторону під дією векторів  $v_{12}$ - $v_{16}$  (табл. 2), окрім  $S3$ , що обумовлене принципом дії РК.

Таблиця 2

Вектора переходів станів об'єкта діагностування

| №  | Вектор переходу | Критерії |     |                     |             |     |     |     |     |     |
|----|-----------------|----------|-----|---------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|    |                 | k 1      | k 2 | k3                  | k4          | k 5 | k 6 | k 7 | k 8 | k 9 |
| 1  | $v_{12}$        | nc       | nc  | k36Uk37             | k44         | nc  | nc  | nc  | nc  | 1   |
| 2  | $v_{14}$        | nc       | nc  | k37                 | k44         | nc  | nc  | nc  | nc  | x   |
| 3  | $v_{15}$        | nc       | nc  | k37                 | k44         | nc  | nc  | nc  | nc  | x   |
| 4  | $v_{16}$        | 0        | nc  | nc                  | nc          | nc  | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 5  |                 | nc       | 0   | nc                  | nc          | nc  | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 6  |                 | nc       | nc  | k31Uk35Uk37         | nc          | nc  | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 7  |                 | nc       | nc  | k36                 | nc          | nc  | nc  | nc  | nc  | 0   |
| 8  |                 | nc       | nc  | nc                  | k41Uk43Uk44 | nc  | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 9  |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | 0   | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 10 |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | nc  | 0   | nc  | nc  | nc  |
| 11 |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | nc  | nc  | 0   | nc  | nc  |
| 12 |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | nc  | nc  | nc  | 0   | nc  |
| 13 |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | nc  | nc  | nc  | nc  | 1   |
| 14 | $v_{21}$        | nc       | nc  | k32Uk33Uk34         | k42         | nc  | nc  | nc  | nc  | 0   |
| 15 | $v_{23}$        | nc       | nc  | nc                  | nc          | nc  | 0   | nc  | nc  | nc  |
| 16 | $v_{26}$        | 0        | nc  | nc                  | nc          | nc  | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 17 |                 | nc       | 0   | nc                  | nc          | nc  | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 18 |                 | nc       | nc  | k31Uk32Uk33Uk34Uk35 | nc          | nc  | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 19 |                 | nc       | nc  | nc                  | k41Uk42Uk43 | nc  | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 20 |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | 0   | nc  | nc  | nc  | nc  |
| 21 |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | nc  | 0   | nc  | nc  | nc  |
| 22 |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | nc  | nc  | 0   | nc  | nc  |
| 23 |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | nc  | nc  | nc  | 0   | nc  |
| 24 |                 | nc       | nc  | nc                  | nc          | nc  | nc  | nc  | x   | 0   |
| 25 | $v_{31}$        | nc       | nc  | k32Uk33Uk34         | k42         | nc  | 1   | nc  | nc  | 0   |
| 26 | $v_{41}$        | nc       | nc  | k32Uk33Uk34         | k42         | nc  | nc  | nc  | nc  | 0   |
| 27 | $v_{51}$        | nc       | nc  | k32Uk33Uk34         | k42         | nc  | nc  | nc  | nc  | 0   |
| 28 | $v_{61}$        | 1        | 1   | k32Uk33Uk34         | k42         | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   |
| 29 | $v_{63}$        | 1        | 1   | k36Uk37             | k44         | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   |

Справний стан S2 допускає роботу без організації кодування при виникненні неполадки з переходом у стан S3 (вектор  $v_{23}$ ), перехід у несправні стани S6 (передбачені системою контролю), захисні стани S4 і S5, що не відрізняються по ступені сприйняття ознаками електричних параметрів. При наявності стану S3 можливий перехід тільки в справний стан S1 (при звільненні ділянки колії рухомим складом), або в несправні стани S6 при виникненні додаткової несправності в ТРК. Перехід з S3 в S4 або S5 відсутній, тому що після виникнення розрахункової несправності S3 необхідно зробити усунення даної неполадки, а поява додаткової несправності такого роду (розрив або КЗ у РЛ) мало ймовірна та приводить до накладання одиночних несправностей, з якими стан рейкового кола буде входити в S6. З несправних станів S4 і S5 об'єкт контролю переходить у справний основний стан S1 тільки після відновлення роботи або при погіршенні значень критеріїв в S6, тобто при появі ще одної одиночної несправності, що призводить до переходу системи в несправний стан з не охарактеризованим набором ознак електричних параметрів. При роботі об'єкта в стані S6 перехід можливий тільки в стан S1 при відновленні справного стану або в S3, S4, S5 при накладенні несправностей, що мало ймовірно з урахуванням типу відмови та частоти їхньої появи [4-6].

В таблиці 2 знак пс вказує на те, що даний признак залишається без зміни. При наявності в рейковому колі складної або рідко, що зустрічається, несправності, перехід зі стану S6 можливий тільки в справне S1 після ремонту або заміни апаратури [2]. Невідомі набори вхідних ознак електричних параметрів відносять до невідомої відмови та несправного стану S6

Під час вибору оптимального набору контрольованих ознак та станів необхідно провести їх мінімізацію та скоротити ті що так чи інакше дублюють один одного [4].

### Мінімізація станів системи діагностування й набору контрольованих параметрів та критеріїв

При описі критеріями контрольованих параметрів різні стани об'єкта діагностування можуть повторюватися по сполученню критеріїв, що свідчить про неможливість розходження даних станів і необхідності їхнього об'єднання (по ступені сприйняття системою контролю та діагностування СД). Крім цього, для зменшення надлишкової функціональності й надмірності перевіряється дублювання контрольованих параметрів системи [65]. Для цього використовується 1 етап методики И. М. Синдеева. Складається таблиця 3 і перевіряється наявність дублювання сполучень ознак у різних станах.

У таблиці 3 при дублюванні контрольованих параметрів для ідентичних критеріїв рядка повинні збігатися. Таким чином, виходячи з того, що всі рядки різні по набору параметрів, то кожний контрольний параметр інформативний. Дублювання відсутнє. При перевірці мінімальності станів проводиться звірення контрольних параметрів для пари станів (по табл. 3).

Мінімізація станів:

- стани S4 і S5 є однаковими по ступені розпізнання критеріїв, що вимагає їхнього об'єднання ( $S4 \text{ і } S5 \rightarrow S45$ );

- при дозволеному справному стані S2 і наявності ознаки k37 виникає невизначеність у стані рейкового кола. Необхідно виключити рядок №14 стану S6 при наявності системи контролю;

- стан S45 частково враховує стан S2 (рядок №5), що вимагає зміну формулювання стану S45. Отже, S45 - стан, при якому в контрольованій ТРК відбулось КЗ або розрив рейкових плітей при відсутності рухомої одиниці на колії ( $k_9=0$ ). При наявності даних несправностей разом з рухомою одиницею дана система тривалий час не виходить зі стану S2, незважаючи на перехід у стан S1 суміжних рейкових кіл;

- стани S3 і S6 перетинаються при виникненні неполадки в системі кодування АЛСН (критерій k6). Для спрощення стану

системи небажано проводити виключення стану S3, тому що при цьому виконуються основні функції ОД по визначенню зайня-

тості/вільності ділянки колії. Таким чином, при наявності системи контролю ТРК в S6 змінюється рядок 22.

Таблиця 3

Перевірка дублювання контрольних параметрів і ознак

| № | Критерії | S1  |     |     | S2  |     | S3  |     | S4  | S5  |
|---|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | k1       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 2 | k2       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 3 | k3       | k32 | k33 | k34 | k36 | k37 | k36 | k37 | k37 | k37 |
| 4 | k4       | k42 | k42 | k42 | k44 | k44 | k44 | k44 | k44 | k44 |
| 5 | k5       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 6 | k6       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   |
| 7 | k7       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 8 | k8       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 9 | k9       | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | x   | x   |

| № | Критерії | S6 |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |   |   |
|---|----------|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|
| 1 | k1       | 0  | x | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x | x | x |
| 2 | k2       | x  | 0 | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x | x | x |
| 3 | k3       | x  | x | k31 | k35 | k37 | k32 | k33 | k34 | k36 | x   | x   | x | x | x |
| 4 | k4       | x  | x | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | k41 | k43 | x | x | x |
| 5 | k5       | x  | x | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | 0 | x | x |
| 6 | k6       | x  | x | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x | 0 | x |
| 7 | k7       | x  | x | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x | x | 0 |
| 8 | k8       | x  | x | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x   | x | x | x |
| 9 | k9       | x  | x | x   | x   | x   | 1   | 1   | 1   | 0   | x   | x   | x | x | x |

Мінімізований граф переходів станів ТРК з урахуванням вищевказаних положень показаний на рисунку 2.

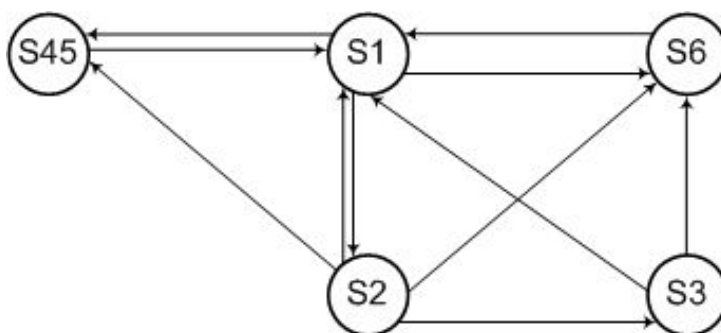


Рис. 2. Мінімізований граф переходів станів тонального рейкового кола

Після корегування ознак для мінімізованих станів тонального рейкового кола

змінена таблиця станів ТРК і вектора переходів буде мати вигляд:

Таблиця 4

Критерії змінених станів ТРК

| №<br>п/п | Стан | Критерії |    |     |     |    |    |    |    |    |
|----------|------|----------|----|-----|-----|----|----|----|----|----|
|          |      | k1       | k2 | k3  | k4  | k5 | k6 | k7 | k8 | k9 |
| 1        | S1   | 1        | 1  | k32 | k42 | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
| 2        |      | 1        | 1  | k33 | k42 | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
| 3        |      | 1        | 1  | k34 | k42 | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
| 4        | S2   | 1        | 1  | k36 | k44 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 5        |      | 1        | 1  | k37 | k44 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 6        | S3   | 1        | 1  | k36 | k44 | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  |
| 7        |      | 1        | 1  | k37 | k44 | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  |
| 8        | S45  | 1        | 1  | k37 | k44 | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
| 9        | S6   | 0        | x  | x   | x   | x  | x  | x  | x  | x  |
| 10       |      | x        | 0  | x   | x   | x  | x  | x  | x  | x  |
| 11       |      | x        | x  | k31 | x   | x  | x  | x  | x  | x  |
| 12       |      | x        | x  | k35 | x   | x  | x  | x  | x  | x  |
| 13       |      | x        | x  | k32 | x   | x  | x  | x  | x  | 1  |
| 14       |      | x        | x  | k33 | x   | x  | x  | x  | x  | 1  |
| 15       |      | x        | x  | k34 | x   | x  | x  | x  | x  | 1  |
| 16       |      | x        | x  | k36 | x   | x  | x  | x  | x  | 0  |
| 17       |      | x        | x  | x   | k41 | x  | x  | x  | x  | x  |
| 18       |      | x        | x  | x   | k43 | x  | x  | x  | x  | x  |
| 19       |      | x        | x  | x   | x   | 0  | x  | x  | x  | x  |
| 20       |      | x        | x  | x   | x   | x  | x  | 0  | x  | x  |
| 21       |      | x        | x  | x   | x   | x  | x  | x  | 0  | x  |
| 22       |      | 1        | 1  | k32 | k42 | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  |
| 23       |      | 1        | 1  | k33 | k42 | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  |
| 24       |      | 1        | 1  | k34 | k42 | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  |

За допомогою булевої алгебри стани теми, у свою чергу, визначають з формул ТРК описуються за формулами (1), а ста- (2) та (3).  
ни повністю або частково несправної сис-

$$S1 = k1 \cap k2 \cap (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \cap k5 \cap k6 \cap k7 \cap k8 \cap \bar{k}9 \quad (1)$$

$$S2 = k1 \cap k2 \cap (k36 \cup k37) \cap k44 \cap k5 \cap k6 \cap k7 \cap k8 \cap k9$$

$$S3 = k1 \cap k2 \cap (k36 \cup k37) \cap k44 \cap k5 \cap \bar{k}6 \cap k7 \cap k8 \cap k9 \quad (2)$$

$$S45 = k1 \cap k2 \cap k37 \cap k44 \cap k5 \cap k6 \cap k7 \cap k8 \cap \bar{k}9$$

$$S6 = \bar{k}1 \cup \bar{k}2 \cup k31 \cup k35 \cup (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k9 \cup k36 \cap \bar{k}9 \cup k41 \cup k43 \cup \bar{k}5 \cup \bar{k}7 \cup \bar{k}8 \cup k1 \cap k2 \cap (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \cap k5 \cap \bar{k}6 \cap k7 \cap k8 \cap \bar{k}9 \quad (3)$$

Таблиця 5

Вектора переходів станів ТРК

| №  | Вектор переходу | Критерії |    |                     |         |    |    |    |    |    |
|----|-----------------|----------|----|---------------------|---------|----|----|----|----|----|
|    |                 | k1       | k2 | k3                  | k4      | k5 | k6 | k7 | k8 | k9 |
| 1  | $v_{12}$        | nc       | nc | k36Uk37             | k44     | nc | nc | nc | nc | 1  |
| 2  | $v_{1-45}$      | nc       | nc | k37                 | k44     | nc | nc | nc | nc | nc |
| 3  | $v_{16}$        | 0        | nc | nc                  | nc      | nc | nc | nc | nc | nc |
| 4  |                 | nc       | 0  | nc                  | nc      | nc | nc | nc | nc | nc |
| 5  |                 | nc       | nc | k31Uk35Uk36         | nc      | nc | nc | nc | nc | nc |
| 6  |                 | nc       | nc | nc                  | nc      | nc | nc | nc | nc | 1  |
| 7  |                 | nc       | nc | nc                  | k41Uk43 | nc | nc | nc | nc | nc |
| 8  |                 | nc       | nc | nc                  | nc      | 0  | nc | nc | nc | nc |
| 9  |                 | nc       | nc | nc                  | nc      | nc | 0  | nc | nc | nc |
| 10 |                 | nc       | nc | nc                  | nc      | nc | 0  | nc | nc | nc |
| 11 |                 | nc       | nc | nc                  | nc      | nc | nc | 0  | nc | nc |
| 12 | $v_{21}$        | nc       | nc | k32Uk33Uk34         | k42     | nc | nc | nc | nc | 0  |
| 13 | $v_{23}$        | nc       | nc | nc                  | nc      | nc | 0  | nc | nc | nc |
| 14 | $v_{26}$        | 0        | nc | nc                  | nc      | nc | nc | nc | nc | nc |
| 15 |                 | nc       | 0  | nc                  | nc      | nc | nc | nc | nc | nc |
| 16 |                 | nc       | nc | k31Uk32Uk33Uk34Uk35 | nc      | nc | nc | nc | nc | nc |
| 17 |                 | nc       | nc | k36                 | nc      | nc | nc | nc | nc | 0  |
| 18 |                 | nc       | nc | nc                  | k41Uk43 | nc | nc | nc | nc | nc |
| 19 |                 | nc       | nc | nc                  | nc      | 0  | nc | nc | nc | nc |
| 20 |                 | nc       | nc | k32Uk33Uk34         | k42     |    | 0  | nc | nc | 0  |
| 21 |                 | nc       | nc | nc                  | nc      | nc | 0  | nc | nc | nc |
| 22 |                 | nc       | nc | nc                  | nc      | nc | nc | 0  | nc | nc |
| 23 | $v_{31}$        | nc       | nc | k32Uk33Uk34         | k42     | nc | 1  | nc | nc | 0  |
| 24 | $v_{45-1}$      | nc       | nc | k32Uk33Uk34         | k42     | nc | nc | nc | nc | nc |
| 25 | $v_{61}$        | 1        | 1  | k32Uk33Uk34         | k42     | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
| 26 | $v_{63}$        | 1        | 1  | k36Uk37             | k44     | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  |

Вектора переходів з справних станів в несправні описуються булевими функціями за формулами (4), (5) та (6).

$$\begin{aligned} v_{12} &= (k36 \cup k37) \cap k44 \cap k9 \\ v_{1-45} &= k37 \cap k44 \\ v_{16} &= \bar{k}1 \cup \bar{k}2 \cup k31 \cup k35 \cup k36 \cup \\ &\cup k9 \cup k41 \cup k43 \cup \bar{k}5 \cup \bar{k}6 \cup \bar{k}7 \cup \bar{k}8 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} v_{21} &= (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \cap \bar{k}9 \\ v_{23} &= \bar{k}6 \\ v_{26} &= \bar{k}1 \cup \bar{k}2 \cup k31 \cup k32 \cup \\ &\cup k33 \cup k34 \cup k35 \cup k36 \cap \bar{k}9 \cup \\ &\cup k41 \cup k43 \cup \bar{k}5 \cup (k32 \cup k33 \cup k34) \cap \\ &\cap k42 \cap \bar{k}6 \cap \bar{k}9 \cup \bar{k}7 \cup \bar{k}8 \\ v_{31} &= (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \cap k6 \cap \bar{k}9 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} v_{45-1} &= (k32 \cup k33 \cup k34) \cap k42 \\ v_{61} &= k1 \cap k2 \cap (k32 \cup k33 \cup k34) \cap \\ &\cap k42 \cap k5 \cap k6 \cap k7 \cap k8 \cap \bar{k}9 \\ v_{63} &= k1 \cap k2 \cap (k36 \cup k37) \cap \\ &\cap k44 \cap k5 \cap \bar{k}6 \cap k7 \cap k8 \cap k9 \end{aligned} \quad (6)$$

У результаті основи функціонування системи контролю параметрів тонального рейкового кола були отримані:

- математична модель тонального рейкового кола, що представлена у просторі станів та включає в себе 6 станів, для створення системи програмного контролю стану тонального рейкового кола;
- функції справного та несправного станів тонального рейкового кола, завдяки чому отримана можливість створення алгоритму пошуку несправностей системи

автоматичного контролю тонального рейкового кола з визначеними 13 одиничними несправностями;

- вектори перехідних ознак, що впливають на перехід об'єкта контролю з одного стану в інший за рахунок зміни електричних параметрів та їх дискретних ознак.

Наведені функції контролю передбачають однозначність рішення при конкретному сполученні ознак електричних параметрів, тобто при певному сполученні ознак імовірність знаходження системи в даному стані дорівнює 1, а в інших станах – 0. Отримані дані дозволяють визначити стан роботи тональної рейкового кола з мінімальними витратами часу й інших ресурсів.

### Ймовірнісне визначення стану ТРК

Системи, засновані на використанні імовірнісного методу визначення стану об'єкта, є більше гнучкими при оцінці вірогідності будь-якого діагнозу, ураховують взаємні залежності між діагностичними параметрами й вплив зовнішніх

конкретних умов експлуатації на діагностичні параметри. Наприклад, імовірнісні дані про напругу на колійному приймачі в нормальному режимі вказують на коректність регулювання напруги на генераторі, а ймовірність напруги пульсацій струму електроживлення генератора - на справність схеми випрямлення.

Для перетворення "жорсткої", безімовірнісної системи діагностування необхідно здійснити перехід від безумовних значень критеріїв (ознак) контрольованих параметрів до ймовірнісних. Використання переходу від чіткого формулювання до нечітко - логічного принципу [7] визначення стану ОД дає можливість організувати дублікат найпоширенішої системи діагностування.

Принцип визначення стану модифікованою системою заснований на змінних математичних моделях, де замість значень критеріїв використовуються ймовірності знаходження даних параметрів  $P(k_j)$ , котрі відомі з діагностичної таблиці 5. Отже, за формулами (7)-(11) визначають стани D1..D6 ОД відповідно:

$$P(D_1 / K^*) = P(k1 / D_i) \cdot P(k2 / D_i) \cdot (P(k32 / D_i) + P(k33 / D_i) + P(k34 / D_i)) \cdot P(k42 / D_i) \cdot P(k5 / D_i) \cdot P(k6 / D_i) \cdot P(k7 / D_i) \cdot P(k8 / D_i) \cdot (1 - P(k9 / D_i)) \quad (7)$$

$$P(D_2 / K^*) = P(k1 / D_i) \cdot P(k2 / D_i) \cdot (P(k36 / D_i) + P(k37 / D_i)) \cdot P(k44 / D_i) \cdot P(k5 / D_i) \cdot P(k6 / D_i) \cdot P(k7 / D_i) \cdot P(k8 / D_i) \cdot P(k9 / D_i) \quad (8)$$

$$P(D_3 / K^*) = P(k1 / D_i) \cdot P(k2 / D_i) \cdot (P(k36 / D_i) + P(k37 / D_i)) \cdot P(k44 / D_i) \cdot P(k5 / D_i) \cdot (1 - P(k6 / D_i)) \cdot P(k7 / D_i) \cdot P(k8 / D_i) \cdot P(k9 / D_i) \quad (9)$$

$$P(D_4 / K^*) = P(k1 / D_i) \cdot P(k2 / D_i) \cdot P(k37 / D_i) \cdot P(k44 / D_i) \cdot P(k5 / D_i) \cdot P(k6 / D_i) \cdot P(k7 / D_i) \cdot P(k8 / D_i) \cdot (1 - P(k9 / D_i)) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} P(D_6 / K^*) = & (1 - P(k1 / D_i)) + (1 - P(k2 / D_i)) + P(k31 / D_i) + P(k35 / D_i) + \\ & + (P(k32 / D_i) + P(k33 / D_i) + P(k34 / D_i)) \cdot P(k9 / D_i) + P(k36 / D_i) \cdot (1 - P(k9 / D_i)) + \\ & + P(k41 / D_i) + P(k43 / D_i) + (1 - P(k5 / D_i)) + (1 - P(k7 / D_i)) + (1 - P(k8 / D_i)) + \\ & + P(k1 / D_i) \cdot P(k2 / D_i) \cdot (P(k32 / D_i) + P(k33 / D_i) + P(k34 / D_i)) \cdot P(k42 / D_i) \cdot \\ & \cdot P(k5 / D_i) \cdot (1 - P(k6 / D_i)) \cdot P(k7 / D_i) \cdot P(k8 / D_i) \cdot (1 - P(k9 / D_i)) \end{aligned} \quad (11)$$



Як видно з (6)-(10), значення стану, у якому перебуває ОД у даний момент часу, не залежить від безумовної ймовірності знаходження в цьому стані, а тільки від набору умовних ймовірностей і вектора ознак  $K^*$ . Отже, модифікована СД по алгоритму не ідентична системі, заснованій на використанні формули Байеса. Таким чином, при використанні двох методів діагностування одночасно збільшується об'єктивність отриманих даних при порівнянні показань двох СД.

---

**Висновки**

---

У результаті проведеної роботи сформована математична модель визначення стану тонального рейкового кола, виходячи із критеріїв якої можна визначити електричні параметри, що підлягають подальшому статистичному обліку. А використання декількох методів при розробці системи автоматичного контролю й діагностування ТРК дозволить удосконалити технологію обслуговування служби Ш за рахунок автоматизації вимірів і збору статистичних даних; зменшення впливу людського фактору на виміри.

**Література**

1. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл (П. Д. Кулик, О. О. Удовіков, В. І. Басов та ін. – Київ: Видавництво. 2006. – 236с. – Іл. 51).
2. Аркатов В. С., Баженов А. И., Котляренко Н. Ф. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 1992. – 384с.

3. Романцев И. О. Определение параметров и критериев для системы автоматического контроля состояния тональных рельсовых цепей / И. О. Романцев// Электромагнитна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2011. – Вип. 1. – С. 37-43.

4. Сафарбаков А. М. Основы технической диагностики деталей и оборудования: учебное пособие / А.М.Сафарбаков, А.В.Лукьянов, С.В.Пахомов. – Ч.1 – Иркутск: ИрГУПС, 2007. – 128 с.

5. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Основы технической диагностики: Учебное пособие для студентов вузов ж-д. транспорта. М.: Маршрут, 2004. – 318с.

6. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Шаманов В.И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для студентов вузов ж-д. транспорта. М.: Маршрут, 2004 – 263с.

7. Яхьяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети: Учебное пособие. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 316с.

**Анотації:**

Представлен принцип диагностирования состояния тональной рельсовой цепи, который улучшен применением вероятностных характеристик определения состояния системы.

---

Представлений принцип діагностування стану рейкового кола тональної частоти, що покращений завдяки використанню ймовірнісних характеристик визначення стану системи.

---

The diagnostic base of condition of tonal railway circuit is described, which have improved by using of probabilistic characteristic that determine system condition.