

УДК 656.257 : 621.3.019.3

В. І. ЩЕКА<sup>1\*</sup>, К. І. ЯЩУК<sup>2\*</sup>, А. Ю. ЖУРАВЛЬОВ<sup>3\*</sup>, О. І. САБЛІН<sup>4\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, ул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта v.i.shcheka@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-2184-2827

<sup>2\*</sup> Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, ул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта k.i.yashchuk@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-8606-5790

<sup>3\*</sup> Каф. «Автоматика та телекомунікації», Український державний університет науки і технологій, ул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта a.yu.zhuravlov@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6885-5177

<sup>4\*</sup> Каф. «Екологічна та цивільна безпека», Український державний університет науки і технологій, ул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 13 03, ел. пошта o.i.sablin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0001-6784-648X

## АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СХЕМ КЕРУВАННЯ СТІЛКОЮ

**Мета.** Метою цієї статті є проведення аналізу надійності схем керування стрілочним електроприводом з метою їх оптимізації та модернізації для підвищення показників надійності. Показати підхід, що до оптимізації схем керування стрілочним електроприводом, який є вигідний з експлуатаційної точки зору, впровадження меншої кількості елементів схем керування зведе до мінімуму кількість відмов. Продемонструвати принципове схемне рішення по оптимізації схеми керування стрілочним електроприводом з застосуванням роздільного резервування з постійно увімкненим резервом та цілою кратністю. **Методика.** Під час дослідження використані методи порівняльного аналізу, синтезу, теорії ймовірності, теорії надійності. **Результати.** В роботі проаналізовано види схемного резервування, як спосіб підвищення надійності схеми керування стрілочним електроприводом. Проведено порівняльне дослідження надійності різних варіантів резервування схеми управління стрілочним електроприводом у порівнянні з класичною ситуацією на залізницях України – відсутності резерву. Доведено, що застосування роздільного резервування з постійно увімкненим резервом та цілою кратністю забезпечує максимальне підвищення надійності, але значна кількість необхідної апаратури суттєво знижує економічну привабливість цього методу. З іншого боку, використання роздільного резервування із заміщенням та дробовою кратністю (ковзного резервування) дає позитивний результат лише за умови, що один резервний блок обслуговує не більше 15 стрілочних електроприводів, в іншому випадку загальна надійність підсистеми може зменшитися. Запропоновано оптимізацію підсистеми керування стрілочними електроприводами на станції, яка зумовлює використання лише 6 схем керування стрілочними електроприводами одна з яких складає ковзний резерв. Розглянуто вплив різних видів резервування на показники надійності схеми керування стрілочним електроприводом. Визначено найбільш ефективний варіант оптимізації підсистеми керування стрілочними електроприводами. **Наукова новизна.** Наукова новизна роботи полягає в обґрунтованні достатності використання для керування стрілками при розпуску складів на сортувальній гірці лише шість схем керування стрілочними електроприводами у поєднанні з використанням ковзного резервування схеми керування стрілочним електроприводом. Запропонований спосіб дозволяє підвищити надійність роботи підсистеми керування стрілочними електроприводами зі збереженням експлуатаційних показників станції. **Практична значимість.** Практична значимість результатів полягає в тому, що при використанні запропонованої оптимізації удосконалюється використання ресурсу пристроїв гіркової автоматики, спрощується процес технічного обслуговування, зменшується загальна вартість апаратури та вартість обслуговування.

*Ключові слова:* надійність, резервування, схема керування стрілкою, сортувальна станція.

### Вступ

Існуючі на залізниці схеми керування стрілочним електроприводом розроблені досить давно і не відповідають сучасним вимогам з інтенсивності, швидкості і безпеки руху, а отже потребують модернізації та оптимізації з одночасним переходом на сучасну елементну базу.

Одним з варіантів оптимізації схем керування стрілкою є заходи з підвищення надійності її роботи. Діагностика функціонування й прогноз стану стрілочного електроприводу та схеми керування ним також є бажаним заходом з модернізації. Особливої уваги заслуговує

використання методів резервування для підвищення надійності та оптимізації схеми керування стрілочним електроприводом. [1, 5, 14-15]

Використання «гарячого» резерву збільшує кількість апаратури для обслуговування електромеханіком та потребує збільшення експлуатаційних витрат на утримання обладнання. Використання «холодного» резервування не дає можливості досягти суттєвого підвищення надійності роботи за рахунок необхідності використовувати додаткові комутуючі елементи, що підключатимуть резервну апаратуру до робочих органів після виходу з ладу основного блоку

[4, 10, 13]. Таким чином отримуємо задачу оптимізації при підвищенні надійності схем управління стрілками. Однією граничною умовою є досягнення максимального зниження ймовірності відмови схеми управління, а іншою – мінімізація експлуатаційних витрат.

Для пошуку рішення задачі оптимізації проведемо порівняльне дослідження надійності різних варіантів резервування схеми управління стрілкою по відношенню до класичної ситуації на залізницях України – відсутність резерву (одна схема управління на одну стрілку без резервування).

Відповідно до ДСТУ 2860-94 резервування – це спосіб забезпечення надійності об'єкта за рахунок використання додаткових засобів та (або) можливостей, надлишкових відносно мінімально необхідних для виконання потрібних функцій [2, 3].

Розрізняють три основних види резервування:

- структурне;
- інформаційне;
- почасове;
- функціональне.

Перераховані види резервування можуть бути застосовані або до технічного засобу у цілому, або до окремих його елементів чи до груп таких елементів. У першому випадку резервування називається загальним, у другому – роздільним. Також розрізняють навантажений, полегшений і ненавантажений резерви. [4, 12, 16]



Рис. 1. Класифікація способів резервування

За способом включення резервних елементів функціональних пристроїв розрізняють три види резервування: постійне, заміщенням і ковзне.

Ефективність резервування оцінюється за допомогою коефіцієнта підвищення надійності, що визначається як відношення ймовірностей безвідмовної роботи (або ймовірностей відмови) системи без резерву та з резервом. [4, 10, 16].

$$\gamma_p = \frac{P_p(t)}{P(t)} = \frac{Q(t)}{Q_p(t)} \quad (1)$$

## Аналіз надійності системи з постійним роздільним резервуванням

На станції управління стрілками здійснює електрична централізація (ЕЦ), її вважаємо за основну систему, а сукупність блоків керування стрілками будемо вважатимемо підсистемою керування стрілками.

Всі схеми керування стрілками на станції за проектом однакові, тож і ймовірність безвідмовної роботи їх теж однакова. Будемо вважати, що нам відома ймовірність безвідмовної роботи схеми керування стрілкою – тоді ймовірність безвідмовної роботи резервованої підсистеми керування стрілками [4, 10, 12-13]:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \{1 - [1 - p_i(t)]^{m_i+1}\}, \quad (2)$$

де  $m_i$  – кратність резервування  $i$ -го елемента,  $n$  – число елементів підсистеми керування стрілками (кількість стрілок на станції).

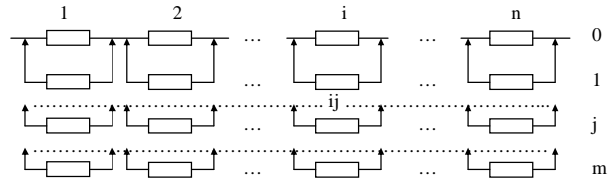


Рис. 2. Структурна схема постійного роздільного резервування

Знехтуємо процесом старіння та припустимо, що інтенсивність відмов не залежить від часу і є постійною величиною. За таких умов розподіл часу між відмовами буде мати експоненціальний закон. При експоненціальному законі надійності, коли  $p_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ , де  $\lambda_i$  – інтенсивність потоку відмов схеми керування стрілкою [4, 10, 12, 13]:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \{1 - [1 - e^{-\lambda_i t}]^{m_i+1}\}.$$

Встановимо на кожну схему керування стрілкою одну резервну схему, що працює паралельно, тоді кратність резервування буде однаковою і дорівнюватиме  $m=1$ . При рівнонадійних елементах і однакової кратності їх резервування [4, 10, 12-13]:

$$P_c(t) = \{1 - [1 - e^{-\lambda t}]^{m+1}\}^n, \quad (3)$$

$$\lambda_c = \frac{n \cdot (m+1) \cdot \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t} \cdot (1 - \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t})^m}{1 - (1 - \lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t})^{m+1}}$$

Такий спосіб резервування має суттєвий недолік: кількість схем керування стрілками

перевищують кількість стрілок у два рази. Такий підхід значно збільшує витрати на обладнання та на експлуатацію всіх встановлених схем.

### Аналіз надійності системи з роздільним резервуванням заміщенням

Розглянемо інший варіант резервування при якому вирішено проблему необхідності надвелької кількості апаратури. Всі схеми керування виконують однакові функції та є однотипними, тому є можливість встановити лише одну схему, яка буде замішувати будь-яку, що вийшла з ладу. На станції встановлюється одна додаткова (резервна) схема керування стрілкою, яка буде підключена замість будь-якої схеми, що вийшла з ладу (див. рис. 3). Такий спосіб резервування називають ковзним [4, 10, 16].

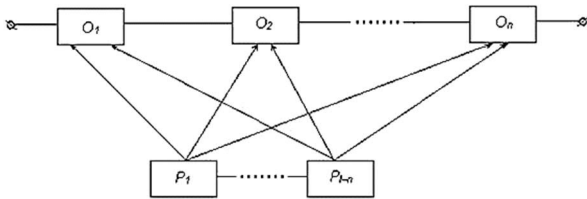


Рис. 3. Схема резервування заміщенням з дробовою кратністю

Припустимо, що всі елементи рівнонадійні і перемикаючі пристрої абсолютно надійні. Система буде працездатна, якщо за час  $t$  відбудуться наступні несумісні події: система не має відмов; відмовив один елемент; відмовили  $m$  елементів.

Ймовірність події  $A_i$  ( $i = 0, 1, \dots, m$ ) визначається за законом Пуассона, тому величина  $P_c(t)$  розраховується за формулою [4, 10, 12]:

$$P_{m+1}(t) = P_m(t) + \int_0^t P(t-\tau) a_m(\tau) d\tau, \quad (4)$$

де,  $P_{m+1}(t)$ ,  $P_m(t)$  – ймовірності безвідмовної роботи резервованої системи кратності  $m+1$  і  $m$  відповідно;  $P(t-\tau)$  – ймовірність безвідмовної роботи основної системи протягом часу  $t-\tau$ ;  $a_m(\tau)$  – частота відмов резервованої системи кратності  $m$  в момент часу  $\tau$ .

Рекурентна формула (4) дозволяє отримати розрахункові співвідношення для пристроїв будь-якої кратності резервування. Для отримання таких формул необхідно виконати інтегрування в правій частині, підставивши замість  $P(t-\tau)$  і  $a_m(\tau)$  їх значення відповідно до обраного закону розподілу і станом резерву. При експоненціальному законі надійності і ненавантаженому стані резерву:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}, \quad (5)$$

$$\text{де } \lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

З виразу (5) можна зробити висновок, що напруження до відмови резервованої системи відповідає гамма-розподілу, параметрами якого є інтенсивність відмов нерезервованої підсистеми та кратність резервування  $m$ , тоді [4, 10]:

$$\lambda_c(t) = \frac{\lambda_0 \cdot (\lambda_0 t)^m}{m! \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}} \quad (6)$$

Це означає, що надійність підсистеми керування стрілками дорівнює надійності підсистеми з загальним резервуванням з заміщенням, але в той же час має в  $n$  разів менше резервних елементів. Однак перемикаючі пристрої при цьому істотно ускладнюються.

### Оптимізація підсистеми керування стрілками

Для вирішення поставленої на початку задачі оптимізації необхідно максимально знизити ймовірності відмови схеми управління та при цьому мінімізувати експлуатаційні витрати по станції. Спосіб резервування з використанням постійного роздільного резервування, що потребує великої кількості апаратури, не може бути вирішенням задачі оптимізації. Спосіб резервування заміщенням суттєво знижує кількість апаратури, але потребує певного доопрацювання.

Згідно зі статистичними даними та виходячи з особливості технологічного процесу сортувальної станції можна зробити висновок, що для керування стрілками при розпуску зі збереженням експлуатаційних показників станції достатньо використовувати лише шість схем керування стрілками, оскільки на більшості станцій більше п'яти стрілок одночасно не переводять, а одна схема складає резерв. Точна кількість схем визначається для кожної станції окремо, в залежності від її особливостей.

Таким чином на усі стрілки сортувального парку використовують не більше шести комплектів схем керування стрілками, перед переводом згідно планованого маршруту руху схема комутації вибирає вільним та справний комплект керування стрілкою, формує кола управління, робочі та контрольні кола, після закінчення переводу схема керування стрілкою вертається під керування схеми комутації, загальна схема контролю з двома комплектами та

мультиплексорним розділенням каналів виконує періодичний контроль положення кожної стрілки без запиту керування.

Приклад реалізації заявленого способу. Блок комутації контролює запити на перевід стрілки та комутує необхідний вільний та справний комплект керування стрілкою, схема керування стрілки виконує перевід стрілки в необхідне положення, визначає закінчення переводу з необхідними вимогами часу переводу, вертає керування пристрою комутації, схема контролю положення стрілок періодично опитує всі контрольовані стрілки та передає ці дані в блок індикації, блок індикації формує кінцеву інформацію про положення кожної стрілки, що не переводиться в поточний час.

При використанні цього способу удосконалюється використання ресурсу пристроїв гіркової автоматики, спрощується процес технічного обслуговування, зменшується загальна вартість апаратури та вартість обслуговування.

### Розрахунок показників надійності

З усіх можливих варіантів керування стрілкою найбільш перспективним є комбінація стрілочного електроприводу з асинхронним двигуном та безконтактним автоперемикачем, а також використання дев'ятипровідної схеми керування [6-12].

Аналіз принципової схеми показав, що до складу дев'ятипровідної схеми керування, а саме до блоку СГ-76У, входять наступні основні реле, які безпосередньо виконують комутації керуючих, робочих та контрольних кіл: МК, ПК, НУС, ПУС, НВС. Зі специфікації блоку СГ-76У відомо типи вище зазначених реле.

Виходячи з даних аналізу стану безпеки руху поїздів, надійності роботи систем і пристроїв ЗАТ в господарстві автоматики і телемеханіки відомі показники надійності роботи електромагнітних реле, що входять до складу блоку СГ-76У, а саме інтенсивності їх відмов. До таблиці 1 занесено типи, маркування та інтенсивності відмов реле, які безпосередньо виконують комутації керуючих, робочих та контрольних кіл у блоку СГ-76У [1, 5, 14-15].

Таблиця 1

#### Параметри надійності основних реле

Маркування реле	Тип реле	Інтенсивність відмов, 1/год
МК, ПК	НМ1-7000	$0,006 \cdot 10^{-6}$
НУС	НМПЗ-0,2/250	$0,09 \cdot 10^{-6}$

ПУС	ПМПУ-150/150	$0,07 \cdot 10^{-6}$
НВС	КДР-1	$0,25 \cdot 10^{-6}$

На основі цих даних розрахуємо інтенсивність відмов блоку СГ-76У, враховуючи, що відмова хоча б одного з цих реле призводить до відмови усього блоку, тобто реле мають послідовне логічне з'єднання. Згідно теорії надійності [10, 12, 13, 16], інтенсивність відмов нерезервованої системи дорівнює сумі інтенсивностей відмов її окремих елементів:

$$\lambda_{\text{ст}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,09 \cdot 10^{-6} + 0,07 \cdot 10^{-6} +$$

$$+0,006 \cdot 10^{-6} + 0,25 \cdot 10^{-6} = 0,416 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Розрахунок показників надійності будемо проводити за інтервал часу, що дорівнює року, тоді  $t=24 \cdot 365=8760$  год. Розрахунки проведемо для умовної сортувальної станції, на якій встановлено 15 стрілок (рис. 4).

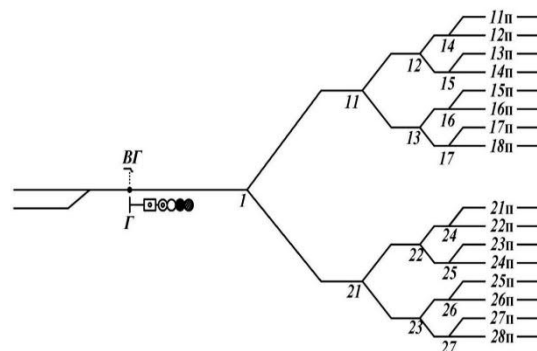


Рис. 4. Схематичний план розрахункової станції

Проведемо розрахунок показників надійності підсистеми керування стрілками у різних варіантах застосування, що були розглянуті вище, та порівняємо їх.

*Перший варіант* – це застосування схеми керування без резервування, для цього варіанту відомо інтенсивність відмов, знайдемо ймовірність відмови, виходячи з умов, що розподіл часу між відмовами буде мати експоненціальний закон.

*Другий варіант* – застосування постійного резервування з встановленням на кожну схему керування стрілкою однієї резервної. Такий варіант відповідає роздільному резервуванню з постійно включеним резервом та цілою кратністю  $m=1$ . Розраховуємо показники надійності по формулам (3).

*Третій варіант* – застосування резервування заміщенням при якому встановлюється на станції один резервний блок керування, який підключається замість будь-якого, що вийшов з

ладу. Такий варіант відповідає роздільному резервуванню заміщенням з дробовою кратністю  $m/n$ ,  $m=1$ ,  $n=15$ . Розраховуємо показники надійності по формулам (5-6).

*Четвертий варіант* – на усі стрілки сортувального парку використовуємо шість комплектів схем керування стрілками, перед переводом згідно планованого маршруту руху схема комутації вибирає вільним та справний комплект керування стрілкою. Такий варіант також відповідає роздільному резервуванню заміщенням з дробовою кратністю, але  $m/n$ ,  $m=1$ ,  $n=6$ . Для розрахунку показників надійності також використовуємо формули (5-6).

Результати розрахунку зведемо в таблицю 2, а також розрахуємо коефіцієнт підвищення надійності за формулою (1) та відносний показник економічної ефективності запропонованих варіантів. Для цього віднесемо отриманий коефіцієнт підвищення надійності до кількості необхідних комплектів керування стрілкою.

$$\lambda_i = \frac{\lambda_c^1(t)}{\lambda_c^i(t)}; \gamma_i = \frac{Q_c^1(t)}{Q_c^i(t)}; C_i = \frac{\gamma_i(t)}{n_i}$$

Таблиця 2

**Результати розрахунків показників надійності**

№ варіанту, $i$	Кількість елементів, $n$	$\lambda_i$	$\gamma_i$	$C_i$
1	15	1	1	0,066
2	30	9,197	18,329	1,222
3	16	1,286	2,525	0,168
4	6	7,789	15,441	2,573

**Висновки**

Виходячи з результатів, що наведені у таблиці, можна зробити наступні висновки.

По-перше, використання роздільного резервування з постійно включеним резервом та цілою кратністю забезпечує найбільший коефіцієнт підвищення надійності. Проте потреба у великій кількості апаратури суттєво знижує економічну привабливість такого методу.

По-друге, використання роздільного резервування заміщенням з дробовою кратністю (ковзного резервування) має позитивний ефект лише за умови, що один резервний блок встановлюється хоча б на 15, або менше стрілок. В протилежному випадку загальна надійність підсистеми може навпаки зменшитись (див. рис.5).

По-третє, використання ковзного резервування у поєднанні з оптимізацією, що запропонована у роботі забезпечує найбільшу

економічну ефективність заходів з підвищення надійності (рис. 6), тому саме цей варіант вважатимемо рішенням поставленої в роботі задачі оптимізації роботи системи керування стрілками на станції.

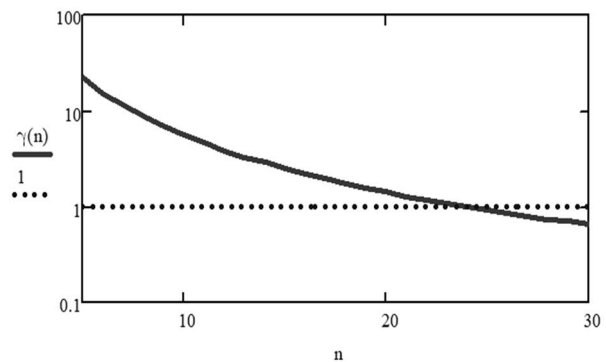


Рис. 5 Залежність коефіцієнту підвищення надійності при використанні ковзного резервування від кількості елементів підсистеми



Рис. 6. Залежність коефіцієнту підвищення надійності від № варіанту оптимізації схем керування стрілкою

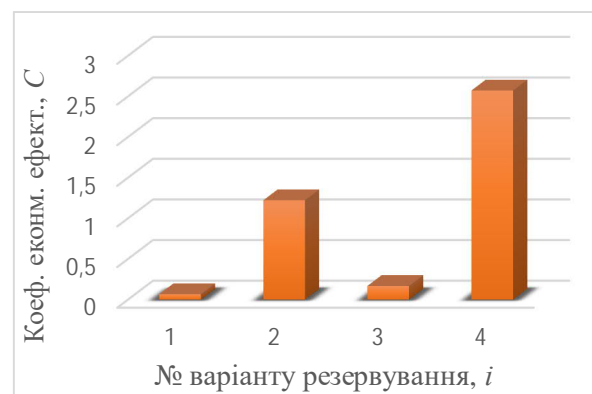


Рис. 7. Залежність коефіцієнту економічної ефективності від № варіанту оптимізації схем керування стрілкою

Результати дослідження показали, що найбільший коефіцієнт підвищення надійності спостерігається при використанні постійного резервування, проте використання ковзного резервування у поєднанні з оптимізацією, що

запропонована у роботі забезпечує найбільшу економічну ефективність. Використання такого підходу дозволить не тільки зменшити ймовірність відмови у підсистемі керування стрілками на сортувальній станції, а й зменшити загальні витрати на апаратуру та її обслуговування.

#### БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Грабко В. В., Бабій С. М. Технічне діагностування автоматичних аналогових керуючих пристроїв електропривода : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2010. 108 с.
2. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1996-01-01. Вид. офіц. 1994. 96 с.
3. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Чинний від 1996-01-01. Вид. офіц. 1995. 129 с.
4. Журахівський А. В., Кінаш Б. М., Пастух О. Р. Надійність електричних систем і мереж. Навчальний посібник. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2012. 280 с.
5. Theeg G., Vlasenko (Eds) S. Railway Signalling & Interlocking International Compendium. 3rd Edition : Eurail press. Hamburg : PMC Media House GmbH, 2020. 553 p.
6. Smith A., Johnson B. Reliability Assessment of Railway Switches Considering Random Operating Conditions. IEEE Trans. Reliability. 2016. Vol. 65, no. 3. P. 891–900.
7. Wang Z., Zhou K. Bayesian reliability analysis of railway switch systems considering limited data. Transportation research part C: emerging technologies. 2014. Vol. 49. P. 142–154.
8. Zhang M., Wang G. Dynamic reliability analysis

of railway switches under uncertain operating conditions. IEEE Trans. Reliability. 2019. Vol. 68, no. 2. P. 546–556.

9. Chen X., Wang Z. Reliability evaluation of railway switch systems under uncertain train loads. IEEE Trans. Reliability. 2018. Vol. 67, no. 1. P. 216–227.

10. On the Fault Detection and Diagnosis of Railway Switch and Crossing Systems: An Overview / M. Hamadache et al. Applied Sciences. 2019. Vol. 9(23):5129.

11. Hsu S. S., Fagan N. Improving switches and crossings performance and reliability. Springer series in reliability engineering. Cham, 2021. P. 43–59.

12. Improving the reliability and availability of railway track switching by analysing historical failure data and introducing functionally redundant subsystems / S. D. Bemment et al. Proceedings of the institution of mechanical engineers, part F: journal of rail and rapid transit. 2017. Vol. 232, no. 5. P. 1407–1424.

13. Hecht H. Systems reliability and failure prevention. Boston : Artech House, 2004. 230 p

14. Rama D., Andrews J. D. A reliability analysis of railway switches. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2013. Vol. 227, no. 4. P. 344–363.

15. Silmon J. A., Roberts C. Improving railway switch system reliability with innovative condition monitoring algorithms. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2010. Vol. 224, no. 4. P. 293–302.

16. García Márquez F. P., Roberts C., Tobias A. M. Railway point mechanisms: Condition monitoring and fault detection. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2009. Vol. 224, no. 1. P. 35–44.

Надійшла до редколегії 02.04.2024.

Прийнята до друку 29.05.2024.

V. SHCHEKA, K. YASHCHUK, A. ZHURAVLOV, O. SABLIN

## RELIABILITY ANALYSIS OF SWITCH'S CONTROL SCHEMES

**Purpose.** The purpose of this article is to conduct an analysis of the reliability of the control schemes of the electric arrow drive with the aim of optimizing and modernizing them to increase the reliability indicators. To show an approach to optimizing the control circuits of an electric turnout that is advantageous from an operational point of view, the implementation of fewer control circuits will minimize the number of failures. To demonstrate a principled circuit solution for optimizing the control circuit of an electric turner with the use of separate redundancy with always-on redundancy and integer multiplicity. **Methods.** During the research, methods of comparative analysis, synthesis, probability theory, and reliability theory were used. **Findings.** The paper analyzes the types of re-reservation as a way to increase the reliability of the arrow control scheme. A comparative study of the reliability of various options for reserving the turnout control scheme was carried out in comparison with the classic situation on the railways of Ukraine - the absence of a reserve. It has been proven that the use of separate redundancy with always-on reserve and integer multiplicity provides the maximum increase in reliability, but the significant amount of necessary equipment significantly reduces the economic attractiveness of this method. On the other hand, the use of separate redundancy with substitution and fractional multiplicity (sliding redundancy) gives a positive result only if one redundancy unit serves no more than 15 turnout electric drives, otherwise the overall reliability of the subsystem may decrease. The optimization of the arrow control subsystem at the station is proposed, which requires the use of only six arrow control schemes, one of which is a sliding reserve. The influence of different types of redundancy on the reliability indicators of the arrow control scheme is considered. The most effective option for optimizing the arrow control subsystem has

been determined. Scientific novelty. **The scientific novelty** of the work consists in the well-founded sufficiency of using only six arrow control schemes in combination with the use of sliding redundancy of the arrow control scheme for the control of arrows when disbanding warehouses on the sorting slide. The proposed method makes it possible to increase the reliability of the arrow control subsystem while maintaining the operational parameters of the station. **Practical significance.** The practical significance of the results lies in the fact that when using the proposed optimization, the resource use of hill automation devices is improved, the maintenance process is simplified, and the total cost of equipment and maintenance costs are reduced.

*Keywords:* reliability, redundancy, switch's control scheme, railway yard.