

**Лагута В.В.**

Український державний університет науки і технологій

**Тимошенко Л.С.**

Український державний університет науки і технологій

## ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ПОТОЧНОГО СТАНУ

Розглянуто оптимізацію вибору параметрів ефективності елементів системи залізничної автоматики та телемеханіки (СЗАТ) з урахуванням їх поточного стану. Зокрема, досліджуються показники надійності та функціональної безпеки, які дозволяють визначити ефективність функціонування СЗАТ. В статті наведені основні принципи, що впливають на успішне виконання системи СЗАТ. Аналізуються параметри надійності елементів, такі як коефіцієнти готовності, час вимушеного простою, частота профілактичних заходів та їх вплив на експлуатаційні показники системи управління рухом поїздів. Особлива увага приділяється аналізу стандартів і нормативів, які регламентують значення функціональної безпеки. Автори зазначають, що жорсткі нормативи можуть ускладнювати розробку систем СЗАТ, тоді як менш жорсткі можуть призводити до ризику залізничних аварій. Для великої кількості відповідальних функцій системи, вимоги до функціональної безпеки можуть знижуватись пропорційно до їх числа. У статті пропонуються підходи до визначення параметрів ефективності елементів СЗАТ з використанням аналізу вартісних характеристик технічного обслуговування, експлуатаційних витрат та надійності систем. Основна мета роботи полягає в обґрунтуванні вибору показників надійності, що дозволяють оцінити поточний стан елементів СЗАТ та використання обраних показників для подальшого функціонування системи. Дослідження акцентує увагу на важливості моніторингу технічного стану об'єктів системи залізничної автоматики для передбачення та управління процесами діагностики та технічного обслуговування засобів автоматики. Висновки роботи дають можливість провести прогноз стосовно виконання відновлювальних заходів засобів СЗАТ з урахуванням їхньої надійності та поточного стану. Отже, розглянуто параметри ефективності елементів системи залізничної автоматики та телемеханіки з урахуванням їхнього поточного стану, що сприяє розумінню та вдосконаленню процесів експлуатації та обслуговування залізничних систем.

**Ключові слова:** імовірність відмов, аналіз системи залізничної автоматики, системи з обслуговуванням, параметри надійності систем, надійність технічних засобів.

**Постановка проблеми.** Особливістю ефективності системи залізничної автоматики та телемеханіки (СЗАТ) є надзвичайно відповідальна роль у виконанні перевізного процесу та забезпечення безпеки руху поїздів. Відмови елементів СЗАТ можуть привести не лише до економічних втрат, спричинених зменшенням пропускної спроможності залізничних доріг, а й збільшити небезпечний стан системи керування руху поїздів.

Розв'язок багатьох завдань, заснованих на кількісній оцінці ефективності СЗАТ [1, с. 25], пов'язано з необхідністю визначення кількісного показника, який представляє собою деяку імовірність виконання тим чи іншим засобом поставленого завдання. Змістом цього завдання повинно відображатися призначення та умови використання засобу, що досліджується, а також враховувати місце у системі.

Завданням дослідження є встановлення ряду основних положень, при спільному дотриманні яких система може успішно виконувати свої функції:

- система повинна завжди бути готова до використання за призначенням та бути працездатною;

- справна система повинна мати такі характеристики, сукупність яких забезпечує успішне виконання завдання.

Необхідною умовою успішного виконання завдання системою є постійне збереження її у справному в процесі експлуатації. Успішність виконання цієї умови залежить і від живучості надійності засобів, і від умов їх використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Параметри надійності елементів СЗАТ дозволя-

ють встановити рівень ефективного застосування СЗАТ. Для правильної оцінки надійності можуть застосовуватись технічні та організаційні коефіцієнти, які характеризують:

- співвідношення між часом роботи та часом простою елементів СЗАТ (коефіцієнти готовності, вимушеного простою, профілактики);
- частоту профілактичних заходів щодо попередження відмов;
- вплив надійності елементів СЗАТ на експлуатаційні показники системи управління руху поїздів в цілому;
- надійність [2, с. 17].

Показники надійності безпосередньо пов'язані з розрахунком нормативних показників функціональної безпеки (ФБ), значення яких мають бути науково обґрунтованими. Більш жорсткі нормативи щодо ФБ призводять до ускладнення розробки СЗАТ, а менш жорсткі – призводять до залізничних аварій та катастроф [3, с. 2]. У міжнародних та європейських стандартах регламентують допустимі ймовірності небезпечних відмов у годину або інтенсивності небезпечних відмов у розрахунку на одну функцію безпеки, які позначають SIL1–SIL4 [4, с. 2; 5, с. 12]. Необхідно відзначити, що для систем управління з малим числом функцій безпеки ці вимоги можуть бути прийнятними, але при великій кількості відповідальних функцій вимоги по ФБ до системи знижуються пропорційно до їх числа, тому що невиконання будь-якої функції безпеки призводить до небезпечного стану всієї системи в цілому [6, с. 182]. У [2, с. 110] запропоновано методи обґрунтування нормативів ФБ.

Як було зазначено, оцінювання ефективності надійності СЗАТ, як і інших технічних об'єктів, здійснюється кількома параметрами. У деяких випадках необхідно надати поточний стан об'єкта кількома параметрами і при цьому не втративши інформацію про його поточний стан. Необхідність розв'язку подібних завдань виникає і для інших технічних систем [7, с. 211; 8, с. 792]. У роботі [9, с. 122] пропонуються підходи, засновані на аналізі вартісних характеристик технічного обслуговування, експлуатаційних витрат та надійності відповідних систем.

Визначення параметрів ефективності елементів СЗАТ неможливе без знання актуальної інформації про їхній поточний стан. З цією метою використовують процес моніторингу технічного стану – спостереження за станом об'єкта для визначення та передбачення моменту переходу з одного стану в інший. Управління процесами діагностики та

моніторингу засобів залізничної автоматики – новий напрям у вирішенні науково-технічної проблеми з експлуатації та технічного обслуговування засобів автоматики [9, с. 125; 10, с. 99].

**Метою роботи** є обґрунтування вибору показників надійності, що дозволяють оцінити поточний стан елементів СЗАТ та подальше використання обраних показників.

**Виклад основного матеріалу.** Засіб (під засобом розуміється деяка сукупність елементів системи, функціонально несучих відповідальність за працездатність системи в цілому) має абсолютну надійність, якщо протягом усього періоду експлуатації воно готове до використання і безвідмовно виконує свої функції. Імовірність успішного виконання засобом, що має абсолютну надійність завдання, можна назвати показником потенційної ефективності  $P_{EI}$ . Реальні засоби не мають абсолютної надійності. Несправності можуть виникнути у процесі експлуатації, поява яких впливає успішність виконання завдання. Ступінь цього впливу залежить від рівня надійності засобу.

Якщо позначити через  $P_H$  показник, характеристики впливу реального рівня надійності засобу на успішність виконання завдання, тоді

$$P_{pi} = P_H \cdot P_{EI}.$$

Таким чином, показник  $P_{pi}$  являє собою імовірність успішного виконання засобом завдання з урахуванням його реальної надійності.

Значення показника  $P_{EI}$  може бути визначено шляхом теоретичних розрахунків, фізичного моделювання, а також за допомогою експериментальних даних, що характеризують результат застосування досліджуваних засобів у відповідних умовах.

Надійність роботи установок СЗАТ [4, с. 2] залежить як від надійності самих технічних засобів, яка визначається їх готовністю до використання, безвідмовністю при виконання своїх функцій, можливістю швидкого відновлення, так і від надійності осіб, які використовують і обслуговують ці засоби.

Внаслідок схемно-конструктивних та виробничих недоліків, а також недоліків у системі обслуговування у пристроях СЗАТ можуть виникати відмови різного характеру, які по різному впливають на успішність функціонування систем. В одних випадках відмова схеми, блоку або елемента призводить до небезпечної втрати працездатності системи, в інших – система через свою надмірність у структурі, а також у зв'язку з системою організації руху поїздів, може виконувати свої функції, але при цьому ефективність функціону-

вання буде нижче. Наприклад, при несправності рейкового кола якоїсь стрілочної секції, викликаній відмовою стикового з'єднувача, поїзд може бути прийнятий на станцію за іншим варіантним маршрутом або за запрошенням, хоча його швидкість у цьому випадку буде нижчою.

Пристрої СЗАТ належать до систем обслуговування. Проведення профілактичних оглядів, з одного боку, підвищує ступінь готовності пристроїв до їх використання за призначенням, а з іншого, призводить до погіршення деяких показників, що визначають ефективність системи. Це пов'язано з тим, що проведення профілактики потребує наявності кваліфікованого обслуговуючого персоналу та використання необхідної контрольно-вимірювальної апаратури, що призводить, у свою чергу, до збільшення вартості експлуатації пристроїв, а технічний ресурс засобів при цьому використовується не за призначенням.

Крім того, відомо, що при проведенні профілактичних заходів іноді збільшується інтенсивність відмов через втручання обслуговуючого персоналу в діючі пристрої.

Відновлення справного стану системи вимагає витрат часу, що складається з часу:

- витрачається на прибуття персоналу до місця ушкодження;
- ремонт та час на виявлення відмови.

Система може продовжити виконання своїх функцій лише через проміжок часу, що дорівнює часу відновлення. Зрозуміло, що це може вплинути на результат виконання завдання, тобто на показник  $P_{pi}$ .

Несправності, що виникли під час експлуатації системи, можуть по-різному проводити результати її функціонування. Ступінь цього впливу залежить від моменту виникнення відмови та її характеру. Якщо, наприклад, несправність в ЕЦ (електрична централізація) виникла до приготування маршруту та на підходах до станції поїзда були відсутні, своєчасне відновлення працездатності пристроїв не вплине на ефективність функціонування систем. Те саме характерно для відмов елементів, що не впливають на даний маршрут (наприклад, несправний рейковий ланцюг, який не входить до цього встановлюваного маршруту). Виникнення відмови в момент приготування маршруту, а також при пропуску поїздів може призвести до повного або часткового невиконання системою свого завдання.

Отже, ступінь впливу несправності [2, с. 14] на ефективність системи залежить не тільки від числа несправностей, їх характеру та часу віднов-

лення, але і від поїзної ситуації в момент виникнення несправності.

Таким чином, недостатня надійність пристроїв може впливати на їх ефективність за наступними основними напрямками:

- відмови, що виникають у процесі експлуатації, можуть призвести до повного невиконання завдання або зниження результатів використання коштів;

- недостатня надійність змушує проводити профілактичні огляди, ремонтні роботи та інші заходи, під час яких витрачається технічний ресурс коштів;

- недостатня надійність змушує здійснювати комплекс заходів, спрямованих на підтримання необхідної готовності засобів і забезпечення швидкого виявлення і усунення відмов, що вимагає наявності кваліфікованого персоналу, відповідної контрольної апаратури і запасних елементів.

Недостатня надійність призводить до зниження ефективності системи [5, с. 125]. Ступінь цього зниження залежить від організації використання, рівня надійності засобів поїзної ситуації та характеризується ставленням

$$P_H = \frac{P_{pi}}{P_{Ei}},$$

де  $P_{pi}$  – показник успішності виконання системою (елементом), що має певний рівень надійності своїх функцій;  $P_{Ei}$  – показник успішності виконання системою (елементом), що володіє абсолютною надійністю своїх функцій.

Вплив несправності на результати використання коштів може бути різним. У загальному випадку воно визначається: інтенсивністю виникнення відмов, їх характером, ремонтпридатністю апаратури та поїзної ситуації у момент виникнення відмови.

СЗАТ належать до групи засобів багаторазової дії, що мають такі особливості:

- засоби мають бути постійно готові до використання;

- з метою забезпечення високої надійності та безпеки руху поїздів пристроєм періодично проходять профілактичні огляди;

- відмови, що виникають у період експлуатації, усуваються обслуговуючим персоналом;

- виконувані системні завдання мають такий характер, який дозволяє вирішувати їх і після усунення відмови.

Найбільш загальним наслідком появи відмов при експлуатації за призначенням є зниження успішності вирішення нею завдань шляхом збільшення часу, витраченого на використання

системи. Відомо [3, с. 3], що система ЕЦ виконає завдання щодо встановлення та розмикання маршруту при наступних ситуаціях:

– система справна до моменту приготування маршруту і не відмовить за час його встановлення та розмикання (оперативний час  $t_{оп}$ );

– несправна у початковий момент часу система буде відновлена за допустимий час  $t_{в}$  і не відмовить за певний час.

Виникнення відмов призводить до збільшення фактичного часу приведення засобів у готовність для використання за призначенням. В результаті цього використання засобів в операції може бути розпочато тільки після необхідного часу  $t_{н}$  і таким чином оперативний час  $t_{оп}$  буде збільшено на  $t_{в}$ . Вказана обставина не може не вплинути на успішність виконання завдань, що стоять перед системою.

Для визначення показника  $P_{pi}$  системи (елемента) з урахуванням їх реальної надійності необхідно визначити:

- 1) величину інтервалу (оперативний час);
- 2) ймовірність виникнення одного, двох та інших незалежних відмов за час  $t_{оп}$ , а також необхідний час на їхнє усунення  $t_{в}$ ;
- 3) фактичний час використання системи за одного, двох і т.д. незалежних відмов ( $t_{оп} + t_{в}$ );
- 4) успішність виконання завдання, тобто значення  $P_{PL}$  за умови виникнення одного, двох і т.д. незалежних відмов;

5) за формулою повної ймовірності значення

$$P_{pi} = \sum_{N_0=0}^{N_n} (P_{piN_0} + q_{N_0}),$$

де  $N_n$  – гранична кількість відмов, які можуть виникнути за час  $t_{оп}$ ;  $q_{N_0}$  – ймовірність виникнення  $N_0$  відмов за час  $t_{оп}$ ;  $N_0, N_n = 0, 1, 2 \dots N_n$  – кількість незалежних відмов;  $P_{piN_0}$  – значення показника  $P_{pi}$  за умови виникнення за час  $t_{оп}$  незалежних відмов.

**Висновки.** Недостатня надійність і необхідність проведення спеціальних заходів щодо забезпечення безвідмовного функціонування засобів залізничної автоматики призводять до зниження показника ймовірності успішного виконання засобом автоматики свого завдання з урахуванням його реальної надійності. В якості оцінок поточного стану засобу (у статті обрані) можуть бути прийняті такі показники:

- $P_H$  – показник характеристики впливу реального рівня надійності засобу на виконання функціонального призначення;
- $P_{pi}$  – показник успішного виконання засобом завдання з урахуванням його реальної надійності;
- $P_{Et}$  – показник успішності виконання системою, що володіє абсолютною надійністю своїх функцій.

Дана оцінка дозволить провести прогноз про проведення відновлювальних заходів засобів системи залізничної автоматики.

#### Список літератури:

1. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2010. 129 с.
2. Кустов В.Ф. Основи теорії надійності та функціональної безпечності систем залізничної автоматики: Навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2008. 218 с.
3. IEC 61508-1:1998. Functional safety of electrical/ electronic/ programmable electronic safety-related systems. – Part 1: General requirements.
4. CENELEC-EN 50129. Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signaling, 2018.
5. Ensuring railroad's digital automation systems resistance to dangerous states / S. Panchenko [et al.] // ICTE in Transportation and Logistics. ICTE Tol 2019, LNITI. – 2020. P. 120–128.
6. Якушенко, О.С. Використання удосконаленого показника технічного обслуговування для обґрунтованого вибору оптимальних ремонтних підприємств [Текст] / О.С. Якушенко, П.О. Власенко // Авіаційно-космічна техніка та технологія, 2014. Вип. № 9 (116182). С. 182–186.
7. Ткаченко, В.А. Теоретичне обґрунтування раціональної періодичності технічного обслуговування спеціальних машин підготовки літальних апаратів [Текст] / В.А. Ткаченко // Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2012. Вип. 15. С. 210–214.
8. Jung S., Choi J.P. End-to-end reliability of satellite communication network systems. IEEE Systems Journal. 2021;15(1):791–801. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2020.2980760>
9. Гаврілюк В.І., Тітов С.С., Єгольников О.О. Управління процесами діагностування і моніторингу засобів автоматики на припортових залізницях. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки». 2020. Т. 31 (70). С. 120–128. DOI: 10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-2/21
10. Лагута В.В., Єгоров О.Й., Доманська Г.А., Тимошенко Л.С. Комп'ютерна система діагностики електричної централізації з використанням обчислювальних засобів.

**Laguta V.V., Tymoshenko L.S. SELECTION OF THE EFFICIENCY PARAMETERS OF RAILWAY AUTOMATION SYSTEM COMPONENTS TAKING INTO ACCOUNT THEIR CURRENT CONDITION**

*The article is devoted to the optimization of the selection of efficiency parameters of the elements of the railway automation and telemechanics system (RATS), taking into account their current state. In particular, indicators of reliability and functional safety are studied, which allow determining the effectiveness of the operation of the RATS. The article discusses the main principles affecting the successful implementation of the RAT system. The reliability parameters of the elements, such as availability ratios, forced downtime, the frequency of preventive measures and their impact on the operational performance of the train traffic control system, are analyzed. Special attention is paid to the analysis of standards and regulations that regulate the meaning of functional safety. The authors point out that strict regulations can complicate the development of RAT systems, while less strict ones can lead to the risk of railway accidents. For a large number of responsible system functions, requirements for functional safety may decrease in proportion to their number. The article offers approaches to determining the parameters of the efficiency of the RAT elements using the analysis of the cost characteristics of maintenance, operating costs and system reliability. The main goal of the work is to substantiate the choice of reliability indicators, which allow to assess the current state of the elements of the RAT and use the selected indicators for the further functioning of the system. The study focuses on the importance of monitoring the technical condition of objects of the railway automation system for predicting and managing the processes of diagnostics and maintenance of automation equipment. The conclusions of the work make it possible to make a forecast regarding the implementation of restoration measures of RAT facilities, taking into account their reliability and current state. So, the article examines the parameters of the efficiency of the elements of the system of railway automation and telemechanics, taking into account their current state, which contributes to the understanding and improvement of the processes of operation and maintenance of railway systems.*

**Key words:** *probability of failures, analysis of the railway automation system, systems with maintenance, system reliability parameters, reliability of technical means.*