

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)

УДК 656.256:681.32

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ОЦІНОК БЕЗПЕКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ З ЗАСТОСУВАННЯМ ПІДХОДІВ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ

Канд. техн. наук В. В. Гаєвський

METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE FORMATION OF QUANTITATIVE ASSESSMENTS OF SAFETY OF AUTOMATED RAIL TRANSPORT CONTROL SYSTEMS USING RISK MANAGEMENT APPROACHES

PhD (Tech.) V. Gaievskyi

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-852.204.2023.284024>



Анотація. У статті розглянуто питання удосконалення методології проведення ідентифікації та оцінювання граничних меж існуючих ризиків технічної експлуатації та технічного обслуговування автоматизованих систем керування залізничного транспорту, визначення та класифікації рівня тяжкості наслідків відмов для подальшого вибору відповідних методів ризик-менеджменту, що будуть застосовані при розробленні інноваційних керуючих систем інфраструктури залізничного транспорту.

Ключові слова: автоматизовані системи керування, технічна експлуатація та обслуговування, ризик-орієнтований підхід.

Abstract. The article examines the issues of improving the methodology for identification and assessment of the limits of existing risks of technical operation and maintenance of automated railway transport control systems, determining and classifying the level of severity of the consequences of failures for the further selection of appropriate risk management methods that will be applied in the development of innovative control systems of railway infrastructure transport.

To resolve the issue, it is proposed to consider the effects of external factors and means of the system itself, which are designed to reduce risk in order to comply with a given level of functional safety using a risk-oriented approach.

The main functions of risk are defined: protective, analytical, innovative, regulatory.

The risk management process is based on the results of risk identification and assessment in order to reduce the consequences of dangerous factors and threats, based on the results of which a structural block diagram of the process was built using the principle "as low as reasonably achievable" (ALARP).

9 stages of risk management are defined:

- risk assessment of potential consequences;
- decision-making regarding risk and its acceptability;
- development of measures to eliminate risks or reduce them to the lowest acceptable level;
- determination of risk probabilities and completion of the table of risk probabilities - categories of the probability of occurrence of dangerous factors or threats;
- assessment of the severity of their consequences and completion of the risk severity table with the definition of the severity category of the consequences of dangerous factors;

- *determination and classification of the level of severity of the consequences of train traffic control system failures;*
- *assessment of risk acceptability using the risk assessment matrix and determination of risk acceptability indices;*
- *risk assessment and decision-making regarding the acceptability or unacceptability of risks.*
- *making a decision about the need to control the assessed risk.*

According to the results of the study, taking into account simplifications and assumptions, it was determined that the most vulnerable elements of the control system and timely and high-quality maintenance require identification and assessment of risks. That is, using statistical data on the failure of technical equipment on the one hand and statistical data on their technical maintenance, it is possible to calculate and assess risk levels and determine and classify the level of severity of the consequences of failures and the degree of their acceptability using quantitative and qualitative methods.

The obtained results will be applied to the selection of appropriate risk management methods and further improvement of automated management systems by expanding their capabilities and providing them with additional functions.

Keywords: *automated control systems, technical operation and maintenance, risk-oriented approach.*

Вступ. Протягом життєвого циклу всі автоматизовані системи керування залізничного транспорту зазнають різних відмов, заважальних впливів, які призводять до виникнення інших впливів, що негативно позначаються як на безпечності (відсутності неприпустимого ризику завдання об'єктом шкоди під час його роботи, технічного обслуговування, зберігання чи транспортування), так і надійності (імовірність того, що пристрій може виконувати свою функцію при заданих умовах в певному інтервалі часу) [1].

Відмови в системі, що експлуатується в рамках застосування та умовах навколишнього середовища, впливають на її поведінку. Усі відмови негативно позначаються на надійності системи, однак лише деякі специфічні відмови мають негативний ефект щодо безпеки.

Технічні принципи для безпеки ґрунтуються насамперед на відомостях про всі можливі небезпечні стани в системі при всіх режимах експлуатації, технічного обслуговування і стані навколишнього середовища.

Цілісність безпеки розглядається як імовірність того, що система виконує встановлені вимоги щодо безпеки при всіх

регламентованих умовах протягом певного проміжку часу.

У процесі технічної експлуатації системи керування рухом поїздів зазнають впливів відмов і збоїв у роботі, серед яких важливими є:

- відмова зі спільної причини – відмова як наслідок події чи подій, які викликають збіг аварійного стану двох чи більше компонентів, що призводить до того, що система не може далі виконувати свою необхідну функцію;

- залежна відмова – відмова, що є наслідком кількох подій, чия ймовірність не може бути подана як простий добуток абсолютних імовірностей окремих подій.

Отже, цілісність безпеки автоматизованих систем керування може розглядатися як комбінація статистично досліджуваних елементів (принципово пов'язаних з апаратним забезпеченням, тобто випадковими відмовами) і статистично недосліджуваних елементів (принципово пов'язаних із систематичними відмовами в програмному забезпеченні, документах, процесах тощо) [1].

Ці питання безпосередньо залежать від процесів технічної експлуатації системи і її технічного обслуговування та

розглядаються як комбінація всієї технічної та адміністративної діяльності включаючи заходи з нагляду для того, щоб утримувати її у стані або знову привести до стану, у якому вона може виконувати необхідну функцію.

У цій роботі прийнято обмеження, що під автоматизованою системою керування розглядається мікропроцесорна система керування рухом поїздів, а саме мікропроцесорна централізація. Але цей підхід можна застосовувати до будь-якої системи автоматизації на залізничному транспорті. Також прийнято спрощення, що впливи на безпечність і надійність апаратної та програмної складових автоматизованих систем керування потребують окремого дослідження і в цій роботі не розглядаються.

Окрім того, ураховується, що, за роботою [2], найбільша кількість транспортних подій у галузі сигналізації та зв'язку трапляється через порушення технології виконання робіт і невиконання робіт, передбачених планами. Згідно з аналізом транспортних подій, віднесених до господарств за період з 2013 по 2021 роки, характерними причинами є:

- порушення технології виконання робіт при технічному обслуговуванні пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ);
- невиконання робіт, передбачених планами технічного обслуговування пристроїв СЦБ, інструкціями та керівними вказівками УЗ;
- розкрадання, навмисне пошкодження пристроїв;
- заводський брак компонентів, схемні недоліки, стихійні лиха, впливи грозових і комутаційних розрядів.

Також важливими причинами можуть бути відмови та збої в апаратній і програмній складових мікропроцесорних систем керування рухом поїздів, але статистичні дані про такі випадки за роки експлуатації цих систем в АТ «Укрзалізниця» відсутні.

Тобто на технічну експлуатацію автоматизованих систем керування негативно впливає людський фактор, пов'язаний як з їхньою технічною експлуатацією, так і якістю проведення технічного обслуговування та якістю самої системи протягом усього життєвого циклу від розроблення до утилізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання ризик-орієнтованих підходів у сучасному світі набирає обертів майже у всіх галузях промисловості, оскільки ризик виникнення несприятливих подій є однією з головних проблем сучасного виробництва і головним критерієм реалізації безпеки.

Застосування ризик-менеджменту як перспективного напрямку розвитку транспортних систем дасть змогу стабілізувати і підвищити ефективність їхньої діяльності [3].

Слід зазначити, що нині керування ризиками в залізничній галузі України має фрагментарний характер і більше стосується вирішення питань керування ризиками насамперед підприємств залізничного транспорту: господарськими, ризикам фінансового планування та сфери державного керування залізничним транспортом. Ці питання висвітлюються в публікаціях таких вітчизняних учених, як Ткаченко І., Бутько Т., Воловельська І., Дикань В., Дячков Д., Крихтіна Ю., Мостенська Т., Панченко Н., Посохов І., Скопенко Н., Токмакова І., Харченко В., Череватенко О. та ін. [3-10].

Визначення граничних рівнів ризику та застосування ефективних проактивних заходів керування ризиками при експлуатації авіаційного транспорту, що також є об'єктом критичної інфраструктури, викладено в роботах Рєви О., Борсука С., Шульгіна В. [11, 12].

У різних дослідженнях [13-16] розглянуто принципи побудови та функціонування систем залізничної автоматики, а також методи забезпечення безпеки і працездатності цих систем. Однак

не всі роботи приділяють достатню увагу сучасним методам і технічним рішенням щодо забезпечення їхнього працездатного стану, а більшість досліджень викладено на прикладі застарілих систем залізничної автоматики. Тому для більш ефективного та безпечного функціонування залізничної автоматики необхідно враховувати нові технологічні рішення та методи.

За джерелами [17-19], керування ризиками має бути основою системи керування безпекою на залізничному транспорті. Структурований підхід у керуванні безпекою дає змогу ідентифікувати небезпеки та постійно керувати ризиками. Цей підхід ураховує спільні ризики всіх учасників організації залізничних перевезень, що дає змогу задовольнити інтереси всіх учасників бізнес-відносин, удосконалити систему корпоративного керування та забезпечити прийняття більш виважених управлінських рішень.

У роботі [20] розглянуто керування ризиками при експлуатації та технічному обслуговуванні залізниць шляхом їхньої ідентифікації та впровадження методів їхньої мінімізації, що дасть змогу зменшити кількість нещасних випадків, а отже, підвищить рівень безпеки на залізничному транспорті. Однак ідентифікація ризиків у цьому дослідженні проводиться лише на основі технічних і нетехнічних характеристик.

Існуючі методики оцінювання ризиків в інших країнах базуються на цифрових технологіях і аналітичній методології керування. Однак існуюча система оцінювання ризиків в Україні не є адекватною, тому необхідно розробити систему керування ризиками, яка б відображала фактичний стан безпеки залізничного транспорту. Вона має передбачати необхідність зниження існуючих рівнів ризику та підтримки рівня ризику на рівні або нижче встановленого рівня. Такий підхід допомагає в прийнятті рішень, що враховують невизначені умови,

можливі події чи обставини в майбутньому та їхній вплив на досягнення цілей організації щодо функціональної безпеки об'єктів інфраструктури [17-19, 21-27].

Дослідженню проблеми керування працездатністю технічних засобів систем сигналізації залізничного транспорту на основі ризиків їхнього функціонування на основі системного підходу присвячена робота [28]. У ній визначено, що на сьогодні вирішення проблеми знаходиться на початковому етапі завдяки відсутності єдиного трактування понять, спільних підходів, а також відсутності наглядних практичних рекомендацій щодо реалізації системи керування ризиками на українських залізницях.

Аналізом діючих стандартів ЄС визначено, що функції безпеки всередині автоматизованої системи керування мають здійснюватися з використанням архітектури, методів, засобів і технічних прийомів, наведених у стандартах:

- CENELEC EN 50126 – визначає галузеві вказівки щодо загального процесу RAMS для мінімізації небезпек [1, 29, 30];

- EN 50128 – надає методи, засоби і технічні прийоми для розроблення програмних систем [31-33];

- EN 50129 – визначає процес приймання та схвалення електронних компонентів залізничних систем сигналізації [34];

- серія стандартів IEC 61508 – є ризик-орієнтований підхід до оцінювання безпеки [35]. Залежно від шкоди, що може бути завдана техногенними об'єктами життю або здоров'ю людини чи зовнішньому середовищу, встановлюються відповідні рівні ризику, для зменшення яких передбачено комплекс заходів, що і регламентуються цими стандартами.

Особливістю життєвого циклу безпеки системи керування є те, що на кожному етапі життєвого циклу необхідно здійснювати аналіз небезпек і ризиків. Реалізація подібної вимоги можлива лише за умови ретельного планування, виконання,

послідовного контролю і документування всіх процесів, що відбуваються протягом повного життєвого циклу безпеки в ітеративному порядку [35].

Тобто всі ці стандарти направлені на вирішення питань керування загальними вимогами до залізничної RAMS, оцінювання ризиків, стратегії зниження ризиків, специфікації вимог до залізничних RAMS, елементів залізничних RAMS, а також обґрунтування безпеки для загального процесу забезпечення надійності та безпеки для залізничного транспорту, але в них не надано практичних рекомендацій щодо реалізації RAMS.

Також потрібно констатувати, що майже у всіх вищезгаданих дослідженнях і стандартах недостатню увагу приділено питанням методології проведення ідентифікації та оцінювання граничних меж існуючих ризиків, пов'язаних з технічною експлуатацією і технічним обслуговуванням автоматизованих систем керування залізничного транспорту.

Усе вищенаведене обумовлює необхідність проведення досліджень застосування системного підходу до питань ідентифікації, оцінювання та керування ризиками автоматизованих систем керування для подальшого їхнього вдосконалення, використовуючи ризик-орієнтовані підходи, що є актуальним.

Визначення мети та завдання дослідження. Для вирішення поставленого питання запропоновано ідентифікувати і оцінити граничні межі існуючих ризиків, пов'язаних з технічними експлуатацією і обслуговуванням автоматизованих систем керування залізничного транспорту, визначити і класифікувати рівні тяжкості наслідків відмов з урахуванням впливів зовнішніх факторів і засобів самої системи, призначених для зниження ризику, що мають досягти необхідного зниження ризику для системи в цілому з метою дотримання заданого рівня функціональної безпеки, використовуючи ризик-орієнтований підхід.

Основна частина дослідження. За ДСТУ ISO Guide 73 [36], ризиком вважається невизначеність щодо досягнення цілей. Також можна охарактеризувати ризик як імовірність реалізації події, що завдає шкоди.

Оцінювання ризику включає оцінювання можливості і наслідків. Як правило, можливість заподіяння шкоди обумовлює порушення, а ймовірність того, що ця можливість буде реалізована в певний момент часу, є ймовірністю ризику.

Основними функціями ризику є:

1) захисна — проявляється в тому, що має вироблятися раціональне ставлення до невдач;

2) аналітична — наявність ризику передбачає необхідність вибору одного з можливих варіантів правильного рішення;

3) інноваційна — проявляється у стимулюванні пошуку нетрадиційних рішень проблем;

4) регулятивна — має суперечливий характер і виступає у двох формах: конструктивній і деструктивній [23].

За роботами [1, 37-39], ідентифікація ризику включає процес виявлення, усвідомлення, складання переліку та описування елементів ризику – джерел небезпек, небезпечних факторів, загроз, небезпечних подій, їхніх потенційних наслідків, імовірностей виникнення.

Оцінювання ризику включає процес порівняння оціненого ризику з конкретними критеріями ризику для визначення їхньої значущості та є необхідним для подальшого прийняття рішень щодо їхньої обробки. Це є найбільш ефективним запобіжним заходом, під час якого враховуються можливі транспортні події і небезпеки, що можуть викликати негативні наслідки. Він дає змогу формувати і запроваджувати заходи щодо зниження ймовірності виникнення небезпек.

Ідентифікацію і оцінювання ризиків необхідно проводити по кожній системі керування з урахуванням усіх факторів під час її технічної експлуатації та технічного обслуговування.

Керування ризиками є скоординованою діяльністю з прийняття управлінських рішень і контролю за діяльністю щодо ризиків і спрямованою на забезпечення мінімально можливого (припустимого) їхнього рівня.

Під час ідентифікації небезпечних факторів або загроз необхідно звертати увагу на зміни в Законах України, Директивах ЄС або інших нормативно-правових актах і такі фактори:

- оновлення чи зміни в технологічних процесах роботи систем керування, впровадження нового чи модернізація існуючого устаткування;
- нові або змінені виробничі процеси, здійснювані при експлуатації систем;
- модифікація захисних пристроїв, обладнання чи заходів безпеки у сфері безпеки руху;
- зміни в технології обслуговування враховуючи можливість залучення підрядних організацій до аутсорсингу.

Ідентифікація небезпечних факторів або загроз є постійним, безперервним і повсякденним процесом, що має використовувати як внутрішні, так і зовнішні джерела інформації з обов'язковим документуванням усіх процедур. При цьому особливу увагу слід приділяти перспективам змін технологічних процесів роботи як підрозділів залізничної інфраструктури, що відповідають за технічну експлуатацію і технічне обслуговування, так і зміни в самій автоматизованій системі керування, її елементів, основного та додаткового обладнання, персоналу та ін.

Також обов'язково слід урахувати всі можливості виникнення цих факторів від малої ймовірності до дуже ймовірних (неминучих). Така ідентифікація виявляє можливість виникнення найгірших умов і потребує встановлення межі між ймовірно найгіршими умовами і такими умовами, які настільки залежать від збігу обставин, що їх не потрібно брати до уваги.

Необхідність проведення ідентифікації небезпечних факторів або загроз і оцінювання ризиків також розглядається:

- за наявності потреби визначити ефективність і об'єктивність запроваджених заходів;
- якщо результати розслідування подій, що вже трапились, вказують на необхідність проведення повторної ідентифікації небезпечних факторів або загроз і оцінювання ризиків;
- якщо під час проведення внутрішніх аудитів (нагляду, контролю) виявлено невідповідності, прийняття рішення щодо усунення яких можливе за допомогою проведення ідентифікації небезпечних факторів або загроз і оцінювання ризиків.

За результатами ідентифікації небезпечних факторів або загроз і оцінювання ризиків, пов'язаних зі змінами, слід визначити:

- появу нових небезпек у зв'язку з запровадженням певних змін і ризиків, пов'язаних з цими небезпеками;
- зміну ризиків, пов'язаних з іншими небезпеками;
- потребу в запровадженні інших заходів безпеки.

Встановлені ризики потребують аналізу, який має такі цілі:

- ідентифікація загроз, пов'язаних із самою системою;
- ідентифікація подій, що викликають ці загрози;
- визначення ризику, пов'язаного з загрозами;
- розроблення процесу безперервного керування ризиком.

Вимоги першого етапу аналізу:

- а) систематичний пошук і класифікація всіх ризиків, можливих за нормальних умов;
- б) ідентифікація прихованих загроз;
- в) виявлення частоти виникнення подій, пов'язаних із існуючими загрозами;
- г) виявлення/оцінювання розміру впливів існуючих загроз;

д) виявлення ризику системи, пов'язаного з кожною загрозою.

Другим етапом аналізу є визначення та класифікація допустимості ризиків, що відповідають кожній відомій загрозі.

Третій етап полягає в розробленні протоколу загроз як базису для керування ризиком.

За результатами аналізу приймають рішення щодо потреби в подальшій ідентифікації небезпек і оцінюванні ризиків.

Ідентифікація небезпечних факторів або загроз полягає у визначенні всіх об'єктів, суб'єктів, ситуацій або дій (чи їхнього поєднання). Перед початком проведення робіт з ідентифікації небезпечних факторів або загроз визначають вхідні дані, а також способи та джерела їх отримання.

Вхідними даними є:

- нормативні вимоги;
- політика та програма забезпечення безпеки системи керування;
- дані за результатами аналізу фактичних показників;
- дані щодо розслідування випадків порушення нормальної роботи системи керування;
- результати внутрішніх аудитів (нагляду, контролю);
- дані за результатами попереднього визначення небезпек і оцінювання ризиків.

Способи і джерела отримання вхідних даних:

- спостереження за режимом і методами роботи, аналіз основних причин небезпечної ситуації;
- зіставне оцінювання;
- аналіз роботи системи;
- оцінювання стану виконання робіт щодо можливості виникнення ризикової ситуації;
- документація, зокрема нормативно-правові акти, інструкції та ін.

Під час ідентифікації небезпечних факторів або загроз розглядають різні види робіт і ситуацій, щоб виявити небезпеки, постійно присутні за нормальних умов

роботи системи керування (технічна експлуатація і технічне обслуговування), а також небезпеки, вплив яких можливий за відхилення від нормальних умов роботи та аварійних ситуацій.

Подальший процес керування ризиками складається з декількох етапів.

Перший етап. Оцінювання ризиків потенційних наслідків, до яких можуть призвести небезпечні фактори або загрози, має здійснюватися у формі аналізу потенційних небезпечних факторів, що становлять загрозу за двома критеріями:

- імовірність настання події чи умов, що завдають шкоди;
- серйозність наслідків події чи умови, якщо вони настануть.

Результатом цього етапу є перехід до **другого етапу** – прийняття рішення стосовно ризику та його прийнятності.

Для цього можна застосовувати матрицю прийнятності ризику, остаточною структурою якої визначається з урахуванням місцевих умов.

Третім етапом є розроблення заходів стосовно усунення ризиків чи зниження їх до найменшого прийняттого рівня з урахуванням необхідності розроблення та застосовування засобів контролю ризиків у формі:

- розроблення нових процедур;
- корегування або зміни методів керування;
- внесення змін до порядку підготовки персоналу;
- модернізації або заміни систем керування на такі, що побудовані за принципами ризик-орієнтації, самоорганізації, самонавчання тощо.

Отже, процес керування ризиками будується на результатах оцінювання ризиків з метою зниження наслідків небезпечних факторів і загроз.

Структурну блок-схему процесу з використанням принципу «так низько, як розумно можна здійснити» (ALARP) наведено на рис. 1.

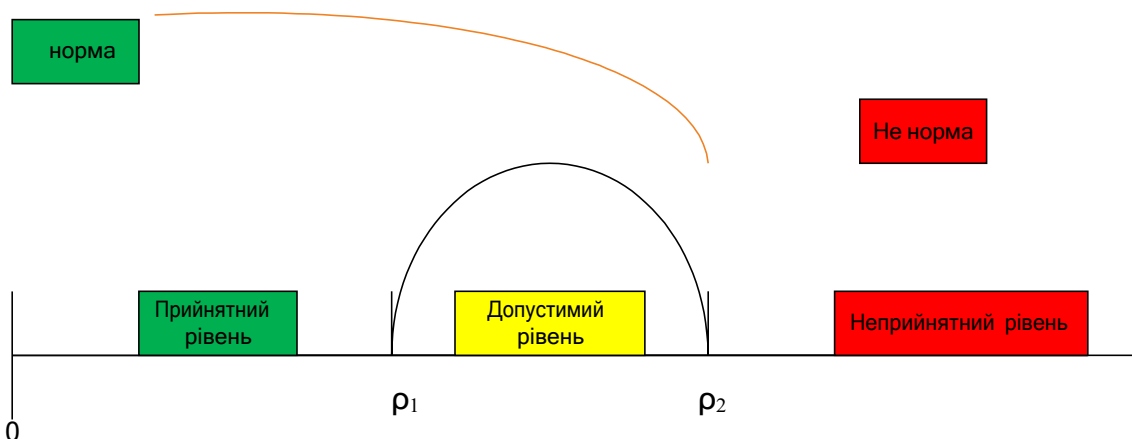


Рис. 1. Структурна блок-схема процесу керування ризиками

Область прийнятної зони ризику пояснюється його об’єктивним характером (безумовно, треба прагнути до цього, але в реаліях це практично неможливо).

Область допустимого рівня ризику – це область розумного ризику.

Ризики, що за результатами оцінювання потрапляють до області неприйнятної зони ризику, є недопустимими за будь-яких обставин. Недопустимий ризик можна знизити до прийнятної зони шляхом проведення профілактичних, організаційних, організаційно-технічних заходів для зниження потенціалу наслідків подій за умови, якщо вони настануть, або припинення виду діяльності, яка становить ризик.

Ризики, які за результатами оцінювання потрапляють до прийнятної зони, вважаються прийнятними за умови, що вжиті заходи щодо їхнього зниження гарантують, що прогнозована імовірність і серйозність наслідків небезпечних факторів або загроз перебуває в межах цієї зони.

Четвертий етап. При оцінюванні визначається імовірність ризику – можливість виникнення небезпечних подій чи умов. Категорії, що характеризують імовірність виникнення небезпечних факторів або загроз, заносяться до таблиці імовірності ризику (табл. 1) з присвоєнням відповідних ступенів (величин) ризику з урахуванням специфіки та практичного розуміння значення частоти їх виникнення [28].

Таблиця 1

Імовірності ризику – категорії імовірності виникнення небезпечних факторів або загроз

Імовірність виникнення небезпечних факторів (події чи умов)	Значення	Ступінь (величина) ризику	Практично розумні значення частоти: 1 раз на ...
Часто	Трапляється дуже часто	5	тиждень
Періодично	Трапляється інколи	4	місяць
Рідко	Імовірність виникнення Мала	3	квартал
Малоймовірно	Імовірність виникнення дуже мала	2	рік
Майже неможливо	Імовірність виникнення майже неможлива	1	життєвий цикл

П'ятий етап. Після оцінювання імовірності виникнення небезпечних факторів або загроз оцінюється серйозність їхніх наслідків (серйозність ризику), оцінювана як тяжкість наслідків небезпечних факторів або загроз. При цьому враховують імовірність найгірших наслідків, що можуть настати внаслідок дії небезпечного фактора.

Категорії, що характеризують рівні ризику, заносяться до таблиці серйозності ризику, які позначаються буквами латинського алфавіту (табл. 2).

Шостий етап. Аналогічно визначаються та класифікуються рівні тяжкості наслідків відмов (табл. 3).

Таблиця 2

Серйозність ризику – категорії тяжкості наслідків небезпечних факторів

Серйозність ризику	Імовірні наслідки	Рівень ризику
Катастрофічна	- значні людські жертви; - знищення обладнання, майна	A
Небезпечна	- серйозні тілесні ушкодження; - значне пошкодження обладнання, майна; - серйозне зниження рівня безпеки руху, настання фізичного стресу чи такого робочого навантаження, при якому нема впевненості в правильному і повному виконанні завдань персоналом підприємства	B
Значна	- аварія; - незначні тілесні ушкодження; - суттєве зниження рівня безпеки руху, зниження можливостей персоналу підприємства впоратися з несприятливими експлуатаційними умовами внаслідок збільшення робочого навантаження чи виникнення умов, що знижують ефективність їхньої роботи	C
Незначна	- інцидент; - пошкодження; - виробничі обмеження	D
Несуттєва	несуттєві наслідки	E

Таблиця 3

Класифікація рівня тяжкості наслідків відмов системи керування

Характеристика тяжкості відмови	Опис	Рівень
Катастрофічний	Вид відмови, що може спричинити руйнування системи	4
Небезпечний	Вид відмови, що може спричинити серйозне пошкодження системи, яке призведе до зриву виконання поставленого завдання та значних затримок поїздів	3
Значний	Вид відмови, що може спричинити незначне пошкодження системи, яке призведе до затримки чи зниження ефективності виконання функцій	2
Незначний	Вид відмови, що не завдає пошкодження комплексу, але призводить до необхідності позапланового обслуговування або незначного ремонту	1

Сьомий етап. Після оцінювання ризику з погляду імовірності та серйозності оцінюють прийнятність ризику.

1. Здійснюється загальне оцінювання ризику за допомогою матриці оцінювання

ризиків (табл. 4), що є комбінованим поєднанням таблиць імовірності ризику, серйозності ризику та тяжкості наслідків відмов системи керування (табл. 1-3), у результаті чого визначається індекс ризику.

Таблиця 4

Матриця оцінювання ризику

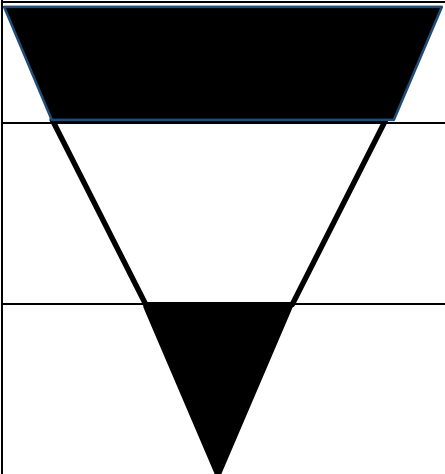
Імовірність ризику	Серйозність ризику				
	катастрофічна А	небезпечна В	значна С	незначна D	несуттєва Е
часто 5	5A4	5B3	5C2	5D1	5E
періодично 4	4A4	4B3	4C2	4D1	4E
рідко 3	3A4	3B3	3C2	3D1	3E
малоймовірно 2	2A4	2B3	2C2	2D1	2E
майже неможливо 1	1A4	1B3	1C2	1D1	1E

2. Визначається індекс прийнятності ризику, який переноситься до матриці прийнятності ризику (табл. 5), що

характеризує критерії прийнятності ризику. Якщо ризик потрапляє до неприйнятної зони, він є неприйнятним.

Таблиця 5

Матриця прийнятності ризику

Рекомендовані критерії	Індекс ризиків	Рекомендовані критерії
	5A4, 5B3, 5C2 4A4 4B3, 3A4	Неприйнятний за певних умов
	5D1, 5E, 4C2, 4D1, 4E 3B3, 3C2, 3D2, 2A4, 2B3, 2C2	Прийнятний з урахуванням заходів щодо зменшення
	3E, 2D1, 2E, 1A4 1B3, 1C2, 1D1, 1E	Прийнятний

Восьмий етап. Оцінювання ризиків, що полягає у визначенні величини ризиків, прогнозу щодо можливих наслідків і ймовірності їх виникнення, прийнятті рішення стосовно прийнятності чи неприйнятності ризиків.

Методи оцінювання ризиків поділяються на якісні та кількісні. Якісний метод полягає у виявленні та ідентифікації причин і видів ризиків. Кількісний метод – це оцінювання частоти ризиків або ймовірності їхніх наслідків.

За результатами оцінювання ризиків визначають ефективність наявних заходів, потребу в їхньому поліпшенні чи запровадженні інших. Якщо нема можливості усунути ризик, то необхідно розглянути можливість зниження ризику до прийняттого рівня, що можна допустити.

Дев'ятий етап. На підставі даних, отриманих при оцінюванні ризику, приймається рішення про необхідність контролю оціненого ризику. Контроль ризику здійснюється шляхом прийняття рішення щодо уникнення ризику, виділення додаткових засобів для його уникнення, вдосконалення чинних процедур зменшення ризиків або розроблення та впровадження нових процедур зменшення ризиків.

Для визначення процедури ідентифікації небезпечних факторів або загроз та оцінювання ризиків автоматизована система керування має вести облік, накопичення, систематизацію та первинний аналіз інформації про всі ситуації з визначенням їхніх передумов, причин і причинно-наслідкового зв'язку.

Конкретні кроки використання керування ризиками надано в Положенні про систему управління безпекою [39], що обов'язково має використовуватися всіма підприємствами та організаціями України. Незважаючи на те, що в цьому нормативному акті акцент зроблено на організаційній складовій експлуатації залізниць, тобто розроблена методика або послідовність дій прийняття управлінського рішення, він перетинається з

запропонованим підходом ідентифікації та оцінювання ризиків автоматизованих систем керування з урахуванням їхньої технічної експлуатації та технічного обслуговування.

Висновки. За результатами досліджень проведено ідентифікацію та оцінювання граничних меж існуючих ризиків технічної експлуатації і технічного обслуговування автоматизованих систем керування залізничного транспорту, визначено та класифіковано рівні тяжкості наслідків відмов.

Визначено основні функції ризику: захисна, аналітична, інноваційна, регулятивна.

Побудовано структурну блок-схему процесу з використанням принципу «так низько, як розумно можна здійснити» (ALARP).

Визначено дев'ять етапів керування ризиками:

- оцінювання ризиків потенційних наслідків;
- прийняття рішення стосовно ризику та його прийнятності;
- розроблення заходів щодо усунення ризиків чи зниження їх до найменшого прийняттого рівня;
- визначення імовірностей ризику та заповнення таблиці імовірності ризику – категорії імовірності виникнення небезпечних факторів або загроз;
- оцінювання серйозності їхніх наслідків і заповнення таблиці серйозності ризику з визначенням категорії тяжкості наслідків небезпечних факторів;
- визначення та класифікація рівня тяжкості наслідків відмов систем керування рухом поїздів;
- оцінювання прийнятності ризику з застосуванням матриці оцінювання ризиків і визначенням індексів прийнятності ризику;
- оцінювання ризиків і прийняття рішення стосовно прийнятності чи неприйнятності ризиків;

- прийняття рішення про необхідність контролю оціненого ризику.

За результатами дослідження з урахуванням обмежень визначено, що ідентифікації та оцінювання ризиків потребують найбільш уразливі елементи системи керування, а також своєчасного та якісного проведення технічного обслуговування. Тобто, використовуючи статистичні дані про відмови технічних засобів, з одного боку, і статистичні дані про проведення їхнього технічного обслуговування – з іншого, можна розрахувати та оцінити рівні ризиків і визначити та класифікувати рівні тяжкості наслідків відмов і ступінь їхньої прийнятності за допомогою кількісних і якісних методів.

При цьому можливе використання як традиційних кількісних методів, що

базуються на статистичних даних про відмови технічних засобів, так і статистичні дані про проведення їхнього технічного обслуговування, сформовані за допомогою якісних методів на основі експертного оцінювання.

Отримані результати можуть знайти застосування для подальшого удосконалення автоматизованих систем керування за рахунок розширення їхніх можливостей і надання їм додаткових функцій.

Подальшим розвитком запропонованого підходу має бути розроблення процедур для автоматизації процесів формування кількісних і якісних оцінок у режимі реального часу, що зменшить вплив так званого людського фактора на формування кінцевого результату.

Список використаних джерел

1. EN 50126-1:2017 CENELEC. Спецификация и доказательство надежности, эксплуатационной готовности, ремонтной пригодности и безопасности (RAMS) для использования на железных дорогах. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels, 2017. 106 с.
2. Гаєвський В. В. Удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі оперативної ідентифікації та локалізації порушень. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/7311> (дата звернення 25.03.2023).
3. Ткаченко І. Ризики у транспортних процесах: навч. посіб. / Нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків, 2017. 114 с.
4. Бутько Т. В., Пархоменко Л. О., Топчій А. В. Формалізація технології функціонування на основі ризик-менеджменту. *Інформаційно-керуючі системи на транспорті*. 2022. № 4. С. 28-32.
5. Дикань В. Л., Воловельская И. В. Специфические особенности системы обеспечения экономической безопасности железнодорожного транспорта. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2016. № 16. С. 63—66.
6. Дикань В. Л., Посохов І. М. Дослідження міжнародних стандартів управління ризиками. *Бізнес Інформ*. 2014. № 1. С. 314—319.
7. Дячков Д. В., Германчук О. О. Формування системи ризик-менеджменту підприємства. *Економічний форум*. 2015. № 4. С. 235—241.
8. Крихтіна Ю. О., Череватенко О. М. Застосування ризик-менеджменту у сфері державного управління залізничним транспортом України. *Теорія та практика державного управління*. 2018. № 2 (61). URL: http://kbuara.kharkov.ua/e-book/tpdu/2018-2/doc/1/1_5.pdf.
9. Мостенська Т. Л., Скопенко Н. С. Ризик-менеджмент як інструмент управління господарським ризиком підприємства. *Вісник Запорізького національного університету. Серія «Економічні науки»*. 2010. № 3 (7). С. 72—79.

10. Токмакова І. В. Теоретико-методологічні основи забезпечення гармонійного розвитку залізничного транспорту України: автореф. дис. ... д-ра екон. наук: спец. 08.00.03. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 46 с.
11. Рева О. М., Борсук С. П., Шульгін В. А. Визначення граничних рівнів ризику під час порушення норми ешелонування повітряного простору. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. Харків : Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2014. № 9. С. 151–156.
12. Борсук С. П. Ергономічні основи проактивної кваліметрії закономірностей прояву людського чинника в аеронавігаційних системах. URL: https://radats.kname.edu.ua/images/Files/dis_Borsuk.pdf.
13. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (ДСТУ ІЕС/ISO 31010: 2013). URL: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf>.
14. Теєр Г., Власенко С. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира. Москва: Интекст, 2010. 496 с.
15. Бочков К. А. Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте: учеб. пособие. Гомель: БелГУТ, 2013. 254 с.
16. Автоматизовані станційні системи керування рухом поїздів / В. Мойсеєнко, С. Пархоменко, М. Чепцов, Т. Коцюба. Харків, 2013. 393 с.
17. Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 of 30 April 2013 on the common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation (EC) No 352/2009 Text with EEA relevance. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0402>.
18. Guide for the application of the Commission Regulation on the adoption of a common safety method on risk evaluation and assessment as referred to in Article 6(3)(a) of the Railway Safety Directive. URL: https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/guide_for_application_of_cms_en.pdf.
19. Safety Management System. URL: https://www.era.europa.eu/activities/safety-management-system_en.
20. Rahmayana P. E., Purba H. H. Risk management in railway during operation and maintenance period: a literature review. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*. 2019. № 04(04). P. 29–35. URL: <https://doi.org/10.33564/ijeast.2019.v04i04.005>.
21. Bulakh M., Okorokov A., Baranovskyi D. Risk System and Railway Safety. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021. № 666(4), 042074. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/666/4/042074>.
22. Read G. J. M., Naweed A., & Salmon P. M. Complexity on the rails: A systems-based approach to understanding safety management in rail transport. *Reliability Engineering & System Safety*. 2019. P. 188, 352–365. URL: <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.03.038>.
23. Em El-Koursi, Subhabrata Mitra G. Bearfield Harmonising Safety Management Systems in the European Railway Sector Safety Science Monitor, I P S O Australia. 2018. Vol. 11 (Is. 2). 14 p.
24. Kalem A., Lindov O., Šimić E. Safety Culture in the Function of Optimization of Railway Safety Management System. In: Karabegović, I. (eds) *New Technologies, Development and Application IV. NT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 233. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_77.
25. M. Lefsrud L., Macciotta Pulisci R., Nkoro A. Railway Association of Canada, Role of Safety Management Systems (SMS) in the railway industry and potential for enhancement of the Railway Safety Act (RSA). 2017. URL: https://tc.canada.ca/sites/default/files/migrated/appendix_e.pdf.

26. Railway Safety Management System Regulations. (SOR/2015-26). URL: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-2015-26/index.html>.
27. Michalak M., Górka W., Bagiński J., Rogowski D., Soch, M., Stęcli, T., Flisiuk B., Leśniak D., Sikora M. (2020). Centralthreatregister – a complex system for risk analysis and decision support in railway transport. *IET Intelligent Transport Systems*. 2020. № 14(8). P. 970–981. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0695>.
28. Valerii Samsonkin, Vasyl Sotnyk, Oksana Yurchenko, Sergii Zmii, Viktor Myronenko, Oleksandra Soloviova Devising a methodology to manage the performance of technical tools of rail transport signaling systems based on the risks of their functioning. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. № 120. P. 32-43.
29. CENELEC EN 50126 - 1:2017 Railway Applications The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). 2017. Vol. 103.
30. CENELEC EN 50126-2:2018 Railway Applications Dependability for Guided Transport Systems. Part 2: Systems Approach to Safety. 2018. Vol. 77.
31. CENELEC, EN 50128-railway applications-communication, signalling and processing systems-software for railway control and protection systems, Book EN. 2012. Vol. 134.
32. EN 50128. URL: <http://standards.globalspec.com/std/1678027/cenelec-en-50128>, 2019 (дата звернення 17.11.2022).
33. EN 50128. URL: <http://www.railwayresearch.org/IMG/pdf/043.pdf>, 2019 (дата звернення 17.11.2022).
34. CENELEC - EN50129. Railway applications - Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling 17, Avenue Marnix Brussels, 1000 Belgium. URL: <https://standards.globalspec.com/std/13113133/EN%2050129>.
35. IEC 61508-3:2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 3: Software requirements. URL: <https://tk185.appau.org.ua/61508/standard-iec-61508/standarty-mek-61508> (дата звернення: 27.06.2019).
36. ДСТУ ISO Guide 73:2013. Керування ризиком. Словник термінів (ISO Guide 73:2009, IDT). URL: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2073.pdf>.
37. Ризик–Вікіпедія URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA> (дата звернення 15.11.2022).
38. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT). ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Risk management — Risk assessment techniques (Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику). URL: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf> (дата звернення 10.02.2020).
39. Про затвердження «Положення про систему управління безпекою руху на залізничному транспорті»: Наказ Міністерства інфраструктури України № 842 (2020) (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0351-21#Text>.

Гаєвський Віталій Вікторович, кандидат технічних наук, директор ТОВ «НВП «Залізничавтоматика», ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7294-5706>. Тел.: +38(067) 573-90-40. E-mail: gaevskiyv54@gmail.com.

Gaievskiy Vitalii, PhD (Tech.), director LLC SPE RAILWAYAUTOMATIC, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7294-5706>. Tel.: +38(067) 573-90-40. E-mail: gaevskiyv54@gmail.com.

Статтю прийнято 28.04.2023 р.