

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategical adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES
DEPARTMENT OF ELECTROMETALLURGY NAMED AFTER
ACADEMICIAN MYKHAILO GASIK
PRYDNIPROVSKYI SCIENTIFIC CENTER OF THE NAS OF UKRAINE
UKRAINIAN ASSOCIATION OF MANUFACTURERS OF FERROALLOYS AND
OTHER ELECTROMETALURGICAL PRODUCTS
ACADEMY OF SCIENCES OF HIGHER EDUCATION OF UKRAINE



The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategic adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

dedicated to the
100th anniversary of the Department of Electrometallurgy named after Academician
Mykhailo Gasik

22-23 April 2025

DNIPRO

УДК 669:[005.591.6:620.92](082)

I 66

Рекомендовано до друку вченою радою Українського державного університету науки і технологій

(Протокол № 12 від 28.05.2025)

Рецензенти:

Грищенко С. Г. – голова ради директорів об'єднання “Укркольормет”, проф., д.т.н.

Камкіна Л. В. – декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій Українського державного університету науки і технологій, проф., д.т.н.

I 66 Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності і сталого розвитку : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 22–23 квітня 2025 р. / за заг. ред. Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 198 с.

У збірнику подано матеріали, що висвітлюють актуальні проблеми розвитку сучасних технологій в металургійному виробництві, на залізничному транспорті, хімічних виробництвах. Значна увага приділена питанням цифрової трансформації, математичному моделюванню, мультидисциплінарним дослідженням.

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)

Recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian State University of Science and Technologies

(Minutes No. 12 dated May 28, 2025)

Reviewers:

Hryshchenko S. G. – Chairman of the Board of Directors of the Association "Ukrkolormet", Professor, Doctor of Technical Sciences

Kamkina L. V. – Dean of the Faculty of Metallurgical Processes and Chemical Technologies, Ukrainian State University of Science and Technology, Professor, Doctor of Technical Sciences

Innovations in Metallurgy and Related Strategic Industries for Energy Efficiency and Sustainable Development : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, April 22–23, 2025 / edited by Yu. S. Proidak, O. V. Zhadanos. – Electronic edition. – Dnipro : USUST, 2025. – 198 p.

The collection presents materials highlighting current issues in the development of modern technologies in metallurgical production, railway transport, and chemical industries. Significant attention is paid to digital transformation, mathematical modeling, and multidisciplinary research.



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons

[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

[\(«Із зазначенням авторства – Некомерційна – Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)
DOI 10.15802/978-617-8314-05-7

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	14
СЕКЦІЯ 1. СУЧАСНА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЯ: ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ	15
ПРОДУВАННЯ ВАННИ КОНВЕРТЕРА ПРИ РАФІНУВАННІ ФЕРОНІКЕЛЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОДНОСОПЛОВИХ ТА ТРИСОПЛОВИХ ФУРМ Акрєєв В.В., Приходько С.В., Мельник С.О., Овчарук А.М.	15
ОГЛЯД ДОСТУПНИХ ДЖЕРЕЛ МАРГАНЦЕВОЇ СИРОВИНИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА МАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ ПІДПРИЄМСТВАМИ УКРАЇНИ Аносов О.В., Гладких В.А., Рубан А.В., Рябцев О.О.	21
ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПІД ЧАС ВИПЛАВКИ МАРГАНЦЕВИХ ФЕРОСПЛАВІВ В УМОВАХ АТ НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОДУ ФЕРОСПЛАВІВ Бабуцький В.І., Зінченко О.М.	25
РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СПЛАВІВ МАРГАНЦІУ Величко К.О.	30
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОГО НАГРІВУ ЗАЛІЗО-РУДО-ВУГІЛЬНОГО БРИКЕТУ В ІНДУКЦІЙНОМУ ПОЛІ Грек О.С.	35
ІНТЕНСИФІКУЮЧИЙ ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЮ НА ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ Гришин О.М., Надточій А.А., Губа Р.М., Хромовський С.А.	40
ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВУГЛЕГРАФІТОВИХ ВИРОБІВ Дерев'яно І.В., Жаданос О.В., Агєєв О.Г.	46
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ВУГЛЕЦЬКАРБІДОКРЕМНІЄВИХ БРИКЕТІВ В СТАЛЬ-КОВШІ ПРИ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛІ Жаданос О.В., Дерев'яно І.В., Шепетяк Є.О., Мацишин В.Г., Петренко М.С.	49
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ТА ПРОКАТКИ У МОДУЛЬНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ СИСТЕМАХ Ціколія А.З., Кононов Д.О.	54
ХАРАКТЕРИСТИКА ВУГЛЕЦЕВИХ ВІДНОВНИКІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ ФЕРОСИЛЦІУ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ КРЕМНІЮ Кравченко В.П., Гладких В.А., Рубан А.В., Малий Є.Д.	59

SECTION 2. TRANSPORT AND INDUSTRIAL ENGINEERING	110
STRATEGIC PRIORITIES AND INNOVATIVE PROSPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS METALLURGICAL MACHINE INDUSTRY IN THE FACTS Kudria Yaroslav	110
ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF REPAIRING TRACTION ELECTRIC MOTORS AT THE PLANTS OF THE PRIVATE JOINT-STOCK COMPANY UKRZALIZNYTSIA Bobyр D. V., Serdiuk V. N.	116
INTEGRATION OF IEC/ISO 31010:2009 STANDARD INTO THE RISK MANAGEMENT SYSTEM OF LOCOMOTIVE OPERATIONS Oleksandr Ochkasov, Andriy Desyak, Zhovnirenko Oleksandr	122
METHODS OF INDICATOR DIAGRAM ANALYSIS FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF DIESEL ENGINES: REVIEW AND APPLICATION PROSPECTS Ochkasov O.B., Studenko O.I.	129
DEVELOPMENT OF ENERGY-EFFICIENT DRIVING MODES FOR ROLLING STOCK DURING FORCED SPEED REDUCTION Kapica M.I., Bobyr D.V., Kyslyi D.M., Samilyk D.O.	134
CALCULATION OF PARAMETERS OF SWITCHING UNIT WITH CORRECTIVE LINKS IN THRUSTER DC-DC CONVERTERS Bobyр D.V., Kolodii D.O.	140
EVALUATION OF COOLING PERFORMANCE IN RADIATORS WITH DIFFERENT TUBE PROFILES Mykhailo Kapitsa, Andriy Desyak	147
APPLICATION OF RISK-BASED MAINTENANCE APPROACHES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LOCOMOTIVE FLEET MAINTENANCE SYSTEM Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B.	152
SECTION 3. PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF CHEMISTRY AND CHEMICAL TECHNOLOGY	158
APPLICATION OF DIMERIC IONIC LIQUIDS OF IONENE TYPE AS A COMPONENT OF SOLAR CELLS Sverdlikovska O., Vovchuk B.	158

ІНТЕГРАЦІЯ СТАНДАРТУ ІЕС/ISO 31010:2009 У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ЛОКОМОТИВНОГО ГОСПОДАРСТВА

Очкасов Олександр Борисович, Доцент каф. «Локомотиви», Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, ел. пошта o.b.ochkasov@ust.edu.ua ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7719-7214>

Десяк Андрій Євгенійович, Асистент каф. «Локомотиви» Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010 ел. пошта a.e.desyak@ust.edu.ua ORCID 0000-0001-8650-5242

Жовніренко Олександр, Аспірант каф. «Локомотиви», Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, ел. пошта o.s.zhovnirenko@ust.edu.ua ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5484-7430>

Анотація. В роботі виконано дослідження можливості застосування стандарту ІЕС/ІСО 31010:2009 в локомотивному господарстві з метою удосконалення системи утримання тепловозів шляхом використання методів оцінки ризиків різного походження. Описано ключові методи аналізу ризиків FMEA, FTA та HAZOP із прикладами їх використання для виявлення несправностей, попередження відмов та аварійних ситуацій на залізничному транспорті. Показано, як ці методи дозволяють підвищити надійність, зменшити аварійність і оптимізувати обслуговування локомотивів.

Ключові слова: ризик, локомотивне господарство, управління ризиками, управління ризиками, локомотивне господарство, стандарт ІЕС/ІСО 31010:2009, аналіз ризиків, технічне обслуговування, безпека, надійність.

INTEGRATION OF IEC/ISO 31010:2009 STANDARD INTO THE RISK MANAGEMENT SYSTEM OF LOCOMOTIVE OPERATIONS

Oleksandr Ochkasov, Associate Professor of the Department of "Locomotives", Ukrainian State University of Science and Technologies (UDUST), 2 Lazaryana St., Dnipro, Ukraine, 49010, Email: o.b.ochkasov@ust.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7719-7214>

Andriy Desyak, Assistant of the Department of "Locomotives", Ukrainian State University of Science and Technologies (UDUST), 2 Lazaryana St., Dnipro, Ukraine, 49010, Email: a.e.desyak@ust.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8650-5242

Zhovnirenko Oleksandr, Postgraduate Student of the Department of "Locomotives", Ukrainian State University of Science and Technologies (UDUST), 2 Lazaryana St., Dnipro, Ukraine, 49010, Email: o.s.zhovnirenko@ust.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5484-7430>

Abstract. The study investigates the possibility of applying the IEC/ISO 31010:2009 standard in the locomotive industry to improve the locomotive maintenance system through the use of risk assessment methods of various origins. The key risk analysis methods, such as FMEA, FTA, and HAZOP, are described with examples of their application for identifying faults,

preventing failures, and avoiding emergency situations in railway transport. It demonstrates how these methods can enhance reliability, reduce accidents, and optimize locomotive servicing.

Keywords: risk, locomotive industry, risk management, IEC/ISO 31010:2009 standard, risk analysis, maintenance, safety, reliability.

У сучасних умовах експлуатації рухомого складу залізничного транспорту, зокрема локомотивів, особливої актуальності набуває питання ефективного контролю технічного стану тягового рухомого складу. Локомотив, як одиниця рухомого складу, функціонує в умовах значних динамічних навантажень, складних кліматичних умовах, в умовах обмежених ресурсах на ремонт та обслуговування в поєднанні з високими вимогами до надійності вузлів та агрегатів. Усі ці фактори є передумовами значних експлуатаційних ризиків, які охоплюють технічні, технологічні, організаційні та людські аспекти функціонування тягового складу.

Втрата працездатності окремих систем та елементів локомотива, може призвести до аварійних ситуацій, незапланованих простоїв, що призводить до порушення графіків руху поїздів та зниження ефективності перевізного процесу в цілому. У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалити планово-попереджувальну систему утримування локомотивів, шляхом провадження ризик-орієнтованої моделі утримання, яка передбачає моніторинг технічного стану та обґрунтоване планування ремонтних і профілактичних заходів.

Застосування методів оцінки ризиків, згідно зі стандартом IEC/ISO 31010:2009, дозволяє ідентифікувати критичні елементи як тягового рухомого складу так і системи утримування, оцінити ймовірність відмов і їх потенційні наслідки для експлуатаційного процесу. Це створює підґрунтя для впровадження удосконаленої системи технічного утримання, яка сприяє підвищенню надійності, зменшенню експлуатаційних витрат та забезпеченню безперебійності перевізного процесу з дотриманням безпеки руху.

У системі утримування локомотивів важливим завданням є забезпечення високого рівня обслуговування та ремонту тягового рухомого складу, мінімізація часу простоїв у ремонтах та запобігання непланових відмовам під час експлуатації. Враховуючи сучасні постійно зростаючі вимоги до ефективності перевізного процесу, підвищення інтенсивності використання локомотивів та обмеженість ресурсів на ремонт та обслуговування, особливої актуальності набуває впровадження удосконаленої системи утримання тепловозів, заснованої на принципах управління ризиками.

Метою цієї роботи є обґрунтування доцільності впровадження методів оцінки ризиків до технічного утримання тепловозів, передбачених стандартом IEC/ISO 31010:2009. Такий підхід дає змогу виявити критичні елементи як системи утримування так і елементів рухомого складу, оцінити ймовірність і наслідки потенційних відмов, визначити пріоритети для удосконалення системи обслуговування.

У рамках дослідження передбачається аналіз практичного застосування методів FMEA, FTA та HAZOP для оцінки ризиків у ключових системах локомотивного господарства. Також розглядається можливість інтеграції результатів ризик-аналізу в систему планово-попереджувального обслуговування з метою зниження експлуатаційних витрат, покращення безпеки та підвищення загальної надійності локомотивного парку.

Стандарт ІЕС/ІСО 31010:2009 визначає загальну методологію аналізу та управління ризиками, надаючи широкий спектр інструментів, які можуть бути адаптовані до специфіки різних галузей промисловості, зокрема й залізничного транспорту. Застосування положень цього стандарту в локомотивному господарстві дозволяє системно підходити до ідентифікації, аналізу та зменшення технічних і експлуатаційних ризиків, пов'язаних із відмовами елементів конструкції локомотива.

У сфері технічного утримання тягового рухомого складу застосування методів аналізу ризиків забезпечує перехід від жорстко регламентованої, календарної моделі обслуговування до адаптивної системи, що враховує фактичний технічний стан агрегатів та їх вплив на безпеку і надійність експлуатації. Оцінка ризиків на основі аналізу несправностей дозволяє сформувати технічно обґрунтовану стратегію обслуговування, орієнтовану на забезпечення максимальної експлуатаційної готовності тягового рухомого складу при оптимальному використанні матеріально-технічних і людських ресурсів.

Процес оцінювання ризиків згідно з ІЕС/ІСО 31010:2009 включає логічний і послідовний підхід, спрямований на отримання відповідей на такі ключові запитання:

Що може статися з вузлами локомотива (ідентифікація потенційних відмов вузлів та агрегатів) та які можуть бути помилки при організації системи утримування?

Якими можуть бути наслідки для безпеки руху, експлуатаційної надійності та ресурсу тягового рухомого складу?

Яка ймовірність настання цих відмов у рамках планового міжремонтного пробігу чи інтервалу?

Чи існують механізми, що пом'якшують наслідки повної чи часткової відмови елемента чи системи локомотива (дублювання систем, системи діагностики, резервні системи)?

Чи допустимий рівень ризику з урахуванням вимог безпеки руху та нормативної бази Укрзалізниці?

Стандарт ІЕС/ІСО 31010:2009 надає цілий ряд методів для оцінки та управління ризиками. Для локомотивного господарства найбільш ефективними є наступні методи.

FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) – дозволяє виявити можливі види відмов вузлів та систем локомотива, оцінити їх вплив на роботу всього залізничного транспорту, а також визначити пріоритетні технічні заходи для усунення або запобігання цим відмовам.

FTA (Fault Tree Analysis) – дає можливість побудувати логічну модель причинно-наслідкових зв'язків між базовими відмовами окремих елементів та аварійними подіями.

HAZOP (Hazard and Operability Study) – метод структурованого та систематизованого дослідження планованих або наявних продукції, процесу, процедури чи системи. Він дає змогу ідентифікувати ризики для персоналу, устаткування, довкілля та/або цілей організації, дозволяє прийняти рішення щодо обробки конкретного ризику, дозволяє оцінити потенційні відхилення від нормальної роботи систем.

Метод Дельфі (Delphi Method) – це експертний метод, який використовується для отримання достовірного узагальненого прогнозу або оцінки шляхом багаторазового опитування групи експертів, тобто залучається колективний досвід. Він є ефективним інструментом у випадках, коли кількісні дані відсутні або недостатні, а рішення потрібно

приймати на основі якісної оцінки досвідчених фахівців. **Метод Дельфі** є доцільним інструментом для формування ризик-орієнтованої стратегії технічного утримання локомотивів у випадках, коли статистичних даних недостатньо, а рішення потрібно приймати на основі професійних суджень. Його можна ефективно поєднувати з методами FMEA або HAZOP для уточнення експертних оцінок.

Приклади застосування методу Дельфі (Delphi Method) ІЕС/ІБО 31010:2009 в локомотивному господарстві:

~ визначення пріоритетності систем тепловоза, які потребують першочергової діагностики та модернізації;

~ оцінка ризиків безпеки на залізницях – метод Дельфі допомагає визначити потенційні ризики, які можуть виникнути в експлуатації локомотивів. Це може включати аварійні ситуації, пов'язані з технічними несправностями локомотивів, небезпеки для пасажирів або аварії на залізничних переїздах;

~ прогнозування потреби в нових локомотивах або модернізації існуючих – методом Дельфі можна визначити потреби в оновленні парку локомотивів, враховуючи майбутні вимоги до перевезень, розвитку залізничної інфраструктури або нових стандартів екологічності;

~ оцінка ефективності систем моніторингу і діагностики локомотивів – експерти можуть використовувати метод Дельфі для оцінки впровадження нових технологій моніторингу та діагностики в реальному часі, таких як системи для виявлення технічних несправностей до їх виникнення, що дозволяє мінімізувати витрати на ремонт.

Аналіз відмов і наслідків (FMEA). Цей метод дозволяє визначити можливі відмови систем та наслідки цих відмов. В локомотивному господарстві цей метод можна застосувати для аналізу відмов у критичних вузлах та системах, таких як силова енергетична установка, гальмівна система та система керування.

Застосування методу FMEA відповідно до ІЕС/ІСО 31010:2009 в локомотивному господарстві дозволяє систематично ідентифікувати можливі відмови у критичних системах локомотивів, оцінювати їх наслідки та вживати відповідні заходи для зниження ризиків, що сприяє підвищенню безпеки та надійності транспорту.

Приклади застосування методу FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) ІЕС/ІБО 31010:2009 в локомотивному господарстві:

1. Аналіз відмов гальмівної системи рухомого складу:

Можливі відмови: нормальний знос чи пошкодження гальмівних колодок, нещільності гальмівної системи (понаднормовий витік повітря), збої в системі управління.

Наслідки відмови: зниження ефективності гальмування, затримка у гальмуванні, збільшення гальмівного шляху і як наслідок виникнення аварійної ситуації.

Заходи з мінімізації ризиків: регулярна перевірка стану гальмівних колодок, контроль щільності гальмівної магістралі, перевірка системи гальмівної системи.

2. Аналіз відмов дизельного двигуна:

Можливі відмови: зниження потужності через зношення поршнів, забруднення пального, перегрів через проблеми з охолоджувальною системою.

Наслідки відмови: аварійна зупинка двигуна, небезпека для локомотивної бригади, потенційно небезпечні ситуації на залізниці.

Заходи з мінімізації ризиків: регулярна перевірка роботи усіх систем дизеля, контроль температури, моніторинг стану поршневої системи, перевірка цільності систем дизеля.

Аналіз дерева відмов (FTA). За допомогою цього методу можна побудувати модель ймовірних шляхів розвитку аварійних ситуацій, що може допомогти у плануванні заходів під час аварій та підвищення рівня безпеки.

Метод FTA використовувався для створення дерева відмов, що показує потенційні шляхи розвитку аварійної ситуації, наприклад через, перепади напруги, перегрів обладнання чи відмову системи охолодження тягового електричного обладнання, потрапляння вологи та конденсату, зношеність, пробій або пошкодження ізоляції, низька якість обслуговування або ремонту, помилки працівників під час експлуатації, збій у системах керування та помилки в алгоритмах управління. Дану методику також можна використовувати для попередження несправностей дизелів, екіпажної та ходової частини.

В результаті після раціонального аналізу та використання дерева відмов можна попередити значну кількість аварійних ситуацій пов'язаних з відмовами та несправностями в роботі тягового обладнання.

Приклад застосування методу FTA (Fault Tree Analysis) IEC/ISO 31010:2009 в локомотивному господарстві. Аналіз відмови тепловозного дизеля.

Основна подія (Top Event) – відмова двигуна локомотива під час руху.

Події нижчого рівня з ймовірними причинами: забруднення пального (використання неякісного пального, пошкодження паливного фільтра), перегрів двигуна (забруднення радіатора, витік охолоджувальної рідини), знос поршневої системи (недотримання графіка обслуговування, використання низькоякісних масел), поломка паливного насоса (неправильна експлуатація, зношення деталей насоса)

Заходи з мінімізації ризиків: встановлення системи фільтрації пального, перевірка і чистка охолоджувальних систем, впровадження регулярних перевірок стану поршневих систем і заміна масел.

Дослідження небезпек і експлуатаційної здатності (HAZOP). HAZOP – це потужний інструмент аналізу ризиків, рекомендований стандартом IEC/ISO 31010:2009, особливо для складних технічних систем із високими вимогами до безпеки. Цей метод дозволяє оцінити не лише технічні аспекти, а й взаємодію людського фактору з локомотивом під час експлуатації, що є критичним для мінімізації людських помилок. У рамках даної доповіді було проведено аналіз можливих ризиків, пов'язаних із різними компонентами локомотивів, та оцінку їх впливу на безпеку перевезень і надійність рухомого складу.

Приклад застосування методу HAZOP (Hazard and Operability Study) IEC/ISO 31010:2009 в локомотивному господарстві.

Дизельний двигун локомотива.

1. Ідентифікація ключових параметрів. Для дизельного двигуна визначаємо основні параметри, що впливають на його роботу: температура охолоджуючої рідини, тиск масла

в системі змащення, частота обертання двигуна, тиск дизельного палива в системі, рівень палива в баку.

2. Ідентифікація можливих відхилень для кожного параметра. Для кожного вищезгаданого параметра визначаються потенційні відхилення.

3. Ідентифікація можливих причин і наслідків. Для кожного відхилення визначаються можливі причини і наслідки.

4. Оцінка ризиків. Оцінюється ймовірність виникнення кожного з відхилень і їх серйозність.

5. Визначення заходів для зниження ризиків. Для кожного відхилення пропонуються заходи для зниження ризиків.

8. Моніторинг і перевірка ефективності заходів. Після впровадження заходів здійснюється постійний моніторинг.

Отже, застосування методу HAZOP для аналізу дизельного двигуна локомотиву дозволяє виявити критичні фактори, які можуть призвести до відмови двигуна або аварійної ситуації, та впровадити заходи для зниження цих ризиків. Це підвищує надійність та безпеку локомотиву, мінімізуючи ймовірність серйозних пошкоджень або зупинок в процесі експлуатації.

В сучасних умовах, де вимоги до безпеки, надійності та ефективності залізничного транспорту є надзвичайно високими, важливим кроком є впровадження систем управління ризиками, що дозволяє оптимізувати систему утримання локомотивів. Застосування стандарту IEC/ISO 31010:2009 у локомотивному господарстві дозволяє впровадити структурований підхід до оцінки та зниження ризиків, пов'язаних з можливими відмовами критичних систем, що забезпечують стабільну та безперебійну роботу залізничного транспорту.

Застосування методів оцінки ризиків, таких як FMEA, FTA, HAZOP та метод Дельфі, дозволяє не лише ідентифікувати критичні елементи як тягового рухомого складу, так і системи утримання, а й визначити ймовірність та наслідки відмов, що є основою для подальшого вдосконалення системи обслуговування. Впровадження цих методів у технічне утримання локомотивів дозволяє перейти до більш гнучкої та адаптивної моделі, орієнтованої на реальний технічний стан елементів локомотива та забезпечуючи підвищення надійності, безпеки та зниження витрат.

Аналіз практичних прикладів застосування вищезазначених методів показав їх ефективність у виявленні потенційних проблемних зон, прогнозуванні можливих аварійних ситуацій та визначенні пріоритетів для заходів щодо покращення безпеки та зменшення експлуатаційних витрат. Зокрема, застосування методу FMEA дозволяє оцінити наслідки відмов ключових систем, таких як гальмівна система та дизельний двигун, тоді як методи FTA та HAZOP допомагають у побудові моделей причинно-наслідкових зв'язків та визначенні найкритичніших елементів, що потребують особливої уваги при обслуговуванні.

Впровадження ризик-орієнтованого підходу до технічного утримання локомотивів дозволить значно підвищити ефективність обслуговування, знизити ризики аварійних ситуацій, що мають серйозні наслідки для безпеки руху та експлуатаційної надійності.

Отже, застосування методів оцінки ризиків згідно зі стандартом IEC/ISO 31010:2009 є доцільним та ефективним кроком для покращення процесу утримання та експлуатації локомотивів в сучасних умовах.

Бібліографічний список

1. IEC/ISO 31010:2009. Методи оцінки ризиків: міжнародний стандарт. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iec.ch/> [Дата звернення: 09.04.2025].
2. Дацун Ю. М. Розвиток наукових основ формування інтелектуалізованої системи ремонту локомотивів: дис. ... докт. техн. наук: 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів / Ю. М. Дацун; наук. консультанти Тараковський Е. Д., Пузир В. Г. – Харків: Український державний університет залізничного транспорту, 2021. – 301 с.
3. Очкасов, О. Б. Підходи до моделювання системи управління локомотивним парком з урахуванням ризиків / Очкасов О. Б., Очеретнюк М. В. // Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг : зб. доп. Міжнар. наук.-метод. конф., Маріуполь, 20–21 січ. 2021 р. / М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», Варшав. політехн. ун-т (Польща), Техн. ун-т Берліну (Німеччина). – Маріуполь, 2021. – С. 304–307.
4. Боднар, Б. Є. Вибір стратегій утримання та експлуатації локомотивного парку з використанням теорії управління ризиками / Боднар Б. Є., Очкасов О. Б. // Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг : зб. доп. Міжнар. наук.-метод. конф., Маріуполь, 20–21 січ. 2021 р. / М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», Варшав. політехн. ун-т (Польща), Техн. ун-т Берліну (Німеччина). – Маріуполь, 2021. – С. 311–315.
5. Впровадження Risk Based Maintenance для підвищення ефективності експлуатації тепловозів на промисловому транспорті / Очкасов О.Б., Мухіна Н. А., Жовніренко О. С., Петренко В. // Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств : тези 13-ї Міжнар. наук.-практ. конф., м. Дніпро, 28–29 листоп. 2024 р. / М-во освіти і науки України, Укр. держ. ун-т науки і технологій, Навч.-наук. ін-т «Дніпров. ін-т інфраструктури і трансп.». – Дніпро, 2024. – С. 65–67.

Наукове видання

Загальна редакція Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса

**ІННОВАЦІЇ В МЕТАЛУРГІЇ І СУМІЖНИХ СТРАТЕГІЧНИХ ГАЛУЗЯХ ДЛЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Електронне видання

Відповідальні за випуск: Пройдак Ю. С., Жаданос О. В.
Комп'ютерна верстка та дизайн: Жаданос О. В.

*Відповідальність за достовірність інформації, представленої в збірнику,
несуть автори*

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022