

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Піценко Ірина Віталіївна

УДК 629.4.027:656.071.8

ДИСЕРТАЦІЯ

Вплив методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів на зниження ризиків
на залізничному транспорті

Спеціальність 273 –Залізничний транспорт

Галузь знань 27 Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ І.В. Піценко

Науковий керівник– Мурадян Леонтій Абрамович, доктор технічних наук, професор

АНОТАЦІЯ

Піценко І.В. Вплив методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів на зниження ризиків на залізничному транспорті

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 273 –Залізничний транспорт. Український державний університет науки і технологій, Дніпро, 2023.

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну проблему, спрямовану на зниження ризиків на залізничному транспорті через вдосконалення методів діагностування буксових вузлів вантажних вагонів. Досліджено стан безпеки руху та встановлено, що основні відмови вагонів пов'язані з недоліками у технічному обслуговуванні та ремонті, зокрема, буксових вузлів. Розроблено методи оцінки ризиків та математичні моделі, які успішно використовуються для підвищення безпеки руху на залізниці. Застосування вібраційного діагностування під час технічного обслуговування і ремонту буксових вузлів вантажних вагонів дозволило значущим чином знизити ризики відмов буксових вузлів. Результати досліджень мають практичне застосування для поліпшення технічного обслуговування та безпеки руху на залізничному транспорті.

Ключові слова: безпека руху, ризики на залізничному транспорті, буксовий вузол, математична модель ризиків, віброакустичний метод діагностування буксового вузла

Список публікацій здобувача:

1. Myamlin S, Muradian L, Shykunov O, Pitsenko I Вплив технічного обслуговування й ремонту буксових вузлів на ризики їх відмов - Science and Transport Progress, 2022
2. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V, Shvets A Predictive model of risks in railroad transport when diagnosing axle boxes of freight wagons - Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 2023
3. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Mathematical model of risks in railway transport during diagnostics of axle boxes of freight cars - НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ 2016
4. Muradian L, Pitsenko I MODEL OF THE RISK OF FAILURE OF AXLE BOXES OF FREIGHT CARS - Innovative technologies in science and education, 2021
5. Myamlin S, Muradian L, Pitsenko I Influence of Diagnostics of Axle Boxes of Freight Cars on Traffic Safety of the Railway Transport - IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021

6. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Математична модель визначення ризиків на залізничному транспорті під час діагностики буксових вузлів вантажних вагонів - Science and Transport Progress 2021
7. Pitsenko I Застосування вібродіагностики буксових вузлів вантажних вагонів для зниження ризиків відмов - ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ №206 2023
8. Мурадян Л, А., Шапошник В. Ю., Подосьонов Д.О., Піценко І.В. Дослідження несправностей пасажирських вагонів - Редакція Міжнародного електронного науково-практичного журналу «WayScience» 2019
9. Піценко І.В. Дослідження експлуатаційних властивостей суцільнокатаних коліс. Проблеми та перспективи розвитку науки і техніки [Текст]: тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрантів та студентів / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп.ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – 120 с.
10. Піценко І.В. Перспективи застосування литих коліс на залізницях України. Науково-технічний прогрес на транспорті [Текст]: Тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрантів та студентів. Секція «Механіка» /Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпро, 2017. – 101 с.
11. Мурадян Л.А., Шапошник В.Ю., Пиценко И.В. Перспективы применения литых колес на железных дорогах Украины Вагонный парк № 9-10 (114-115) – 2016. – 38 с.
12. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Перспективы эксплуатации литых колес на железных дорогах Украины ООО «Подвижной состав», Харьков – 2016
13. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Исследование эксплуатационных свойств цельнокатаных колес вагонов Сучасний рух науки: IX Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф – 2019
14. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Патент на корисну модель: Шаблон для виміру дефектів залізничних коліс. u 2017 07770. – 2018
15. Muradian L, Pitsenko I ОЦІНКА РЕСУРСУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС - ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ – 2019
16. Muradian L, Pitsenko I ДОСЛІДЖЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА, ЗА РАХУНОК ЗМІНИ ФОРМИ ДИСКУ - Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції - 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ.....	5
ВСТУП	7
1 СТАН ДОСЛІДЖУЄМОГО ПИТАННЯ	13
1.1 Аналіз літературних джерел	13
1.2 Аналіз ризиків, що виникають на залізничному транспорті при перевезеннях	15
1.3 Методи і засоби діагностування буксового вузла вантажних вагонів для зниження ризиків	37
1.4 Постановка проблеми. Мета роботи і задачі дослідження	43
2 МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ, ОЦІНКА БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ ВІДМОВАХ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ	45
2.1 Методи, об'єкт і предмет дослідження	45
2.2 Опис ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів	47
2.4 Висновки до розділу 2	62
3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РИЗИКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДІАГНОСТИКИ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ.....	63
3.1 Математична модель ризиків на залізничному транспорті при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів.....	63
3.2 Підвищення ефективності роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів при обмежених ресурсах.....	75
3.3 Застосування методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів	87
3.4 Висновки до розділу 3	94
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РИЗИКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДІАГНОСТИКИ БУКСОВОГО ВУЗЛА ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ	96
4.1 Результати впровадження технології діагностування буксового вузла вантажних вагонів	96
4.2 Техніко-економічна ефективність використання методу діагностування буксових вузлів вантажних вагонів	99
4.3 Висновки до розділу 4	112

<i>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</i>	<i>113</i>
<i>БІБЛІОГРАФІЯ</i>	<i>117</i>

Перелік термінів

Ризик – результат впливу невизначеності на досягнення поставлених цілей.

Ризик відмови – імовірність настання події, яка призведе до значних збитків.

Якісне оцінювання ризику – позначається наслідок, імовірність і рівень ризику, поєднання наслідку та ймовірності, та оцінка рівня ризику.

Кількісне оцінювання ризику – рівень ризику (імовірність) в конкретних одиницях (відносні одиниці, відсотки). Також може бути розрахований ризик збитків як добуток імовірності на збиток (у гривнях, тощо).

Імовірність безвідмовної роботи – імовірність того, що протягом заданого наробітку (кількості відпрацьованих годин) відмова об'єкта не виникне.

Імовірність відмови – це імовірність того, що в заданому інтервалі часу й при заданих умовах експлуатації відбудеться хоча б одна відмова.

ВСТУП

Актуальність роботи. Залізничний транспорт на внутрішньому ринку надає значну частину транспортних послуг, пов'язаних з організацією та забезпеченням процесу перевезення вантажів і пасажирів. Однією з головних завдань залізничного транспорту, а також важливою складовою його ефективної роботи і розвитку є забезпечення безпеки руху, на яку безпосередньо впливає надійність елементів рухомого складу та технічних засобів інфраструктури.

Після здобуття незалежності, Україна, як одна з небагатьох країн колишнього Радянського Союзу, отримала у спадок добре розвинену залізничну інфраструктуру та відносно нормальне матеріально-технічне оснащення залізниць. Проте, перехід до ринкової економіки та специфічні внутрішні особливості розвитку країни вимагали швидкого пристосування та зміни організаційної і управлінської структури, а отже, реформування українських залізниць. Внаслідок відсутності вказаних змін протягом 15 років (1991-2006 рр.) Укрзалізниця продовжувала працювати за старими принципами, які не відповідали сучасним світовим тенденціям організації роботи залізничного транспорту, відбулося те, що її функціонування стало неефективним з подальшим ускладненням її розвитку. Проте і на тепер головним залишається забезпечення достатнього рівня безпеки руху.

Успішне вирішення задачі забезпечення необхідного рівня безпеки руху на залізниці полягає у підтримці належного технічного стану і надійності, в першу чергу, вагонного парку, оскільки українські залізниці, найбільше за все, виконують перевезення вантажів. У свою чергу, безпека руху, при цьому, може бути оцінена ризиками можливих відмов вантажних вагонів після виконання технічного обслуговування та ремонту. Тому забезпечення низьких значень ризиків у процесі експлуатації залізничного транспорту під час технічного обслуговування та ремонту може бути досягнуто належним процесом діагностування вантажних вагонів, оскільки

вони складають найбільшу частину з усього рухомого складу при вантажних перевезеннях.

Інформація про відмови елементів вантажних вагонів, що виникають в процесі експлуатації, являє собою деякий набір статистичних даних, використовуючи які може бути наданий аналіз цих відмов. Оскільки відома статистична інформація про відмови елементів вантажних вагонів, то можна стверджувати, що найбільша частка кількості відмов припадає на буксові вузли.

В свою чергу, аналізуючи відмови буксових вузлів вантажних вагонів можна встановити, що майже всі вони пов'язані з неякісно-проведеним ремонтом і технічним обслуговуванням, на процес якого істотно впливає недодержання технології виконання, в т.ч. і людський фактор. Для зниження ризиків, що допускаються при ремонті і технічному обслуговуванні вантажних вагонів необхідним є застосування методів діагностування буксових вузлів і подальшим розрахунком ризиків для оцінки безпеки руху на залізничному транспорті.

Питанням безпеки руху на залізничному транспорті та можливими шляхами її підвищення, присвячені праці науковців, таких як: Сокол Е.М., Мартинов І.Е, Соколов О.Й., Батіг А.В., Лужицький О.Ф., Возняк О.М., Болжеларський Я.В., Боднар Б.Є., Босов А.А., Бутько Т.В., Капіца М. І., Тартаковський Е.Д. та багатьох інших вчених. Серед закордонних вчених питаннями визначення та прогнозування стану безпеки руху на залізницях займалися: M. Patil, R. D. Shinde, Yu Lu, A. Miller, Chris Johnson, Tingdi Zhao, P. Smoczyński, A. Kadziński, R. Licciardello, A. Baldassarra, P. Vitali, A. Tieri, M. Cruciani, A. N. Vasile, M. M. Rekabi, R. M. Houdijk, M. Sasidharan, M. Burrow, G. Ghataora та багато інших вчених.

Визначенню та класифікації ризиків на залізничному транспорті з їх оцінкою та прогнозуванням присвячені праці таких вітчизняних науковців як: Бакаєв Л.О., Ткаченко І.О., Розсоха О.В., Рачинська А.В., Почечун О. І, Панченко О.І., Кривенко О.Б., Коноваленко Ю., Карась О.О., Журавель К.В.,

Корнійчук М., Совтус І., Березуцький В.В., Адаменко М.І., Кацман М.Д. та закордонних науковців: A. Stažnik, D. Babić, I. Bajor, A. Otto, P. Kellermann, A. H.Thieken, M. Máñez Costa, M. Carmona, P. Bubeck, A. Berrado, B. Leitner, E. M. Figueres, P. Hughes, C. Gulijk, J. Grenčík, R. Poprocký, J. Galliková, P. Volna, H. Hady-Mabrouk, A. Jamshidi, S. Faghieh-Roohi, S. Hajizadeh, A. Núñez, R. Babuška, R. Dollevoet, Z. Li, B.D. Schutter, J. M. Andrić, J. Wang, R. Zhong, Q. Li, J. Zhang, Q. Sun, M. Ann, W. Lin, Oz Ma, T. Eskandari.

Оскільки АТ «Українська залізниця» має на меті реформування та імплементацію вимог законодавства ЄС, то застосування діагностики буксових вузлів вантажних вагонів для зниження ризиків на залізничному транспорті є актуальною темою дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі, що визначені Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р), Стратегією АТ «Українська залізниця» на 2019-2023 роки, а також пов'язана з науково-дослідними роботами, що виконуються Дніпровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є зниження ризиків на залізничному транспорті при застосуванні методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- дослідити стан досліджуємого питання;
- обрати методи, визначити об'єкт і предмет дослідження, а також зробити оцінку безпеки руху при відмовах буксових вузлів вантажних вагонів;
- розробити математичну модель ризиків на залізничному транспорті при застосуванні діагностики буксових вузлів вантажних вагонів;

- провести експериментальні дослідження ризиків на залізничному транспорті при застосуванні діагностики буксового вузла вантажних вагонів та оцінити техніко-економічну ефективність запропонованих заходів.

Об'єктом дослідження є процес виникнення ризиків на залізничному транспорті при відмовах буксових вузлів.

Предмет дослідження – методи діагностування буксових вузлів вантажних вагонів для зниження ризиків на залізничному транспорті.

Методи дослідження. Для зниження ризиків на залізничному транспорті при застосуванні методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів використовувалися методи аналізу і синтезу, причинно-наслідкові зв'язки, теорія ймовірностей, математична статистика. Для побудови математичних моделей було використано показники ризику, теорії інформації, ймовірностей, надійності технічних систем і управління та метод аналогій.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в такому:

- вперше розроблено математичну модель ризиків на залізничному транспорті при застосуванні методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла, яка включає ймовірність безвідмовної роботи буксових вузлів вантажних вагонів, ймовірність встановлення діагнозу буксових вузлів вантажних вагонів, значимість діагностичного параметру та його відносну оцінку після i -го технічного обслуговування, j -го ремонту чи k -го технічного контролю дозволяє визначити рівень ризиків і тим самим обрати найкращий метод діагностування для підвищення безпеки руху поїздів.

- удосконалено математичну модель оцінки ефективності роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів, яка включає обмежені показники ресурсів, що, на відміну від існуючої, включає коефіцієнт ефективності і коефіцієнт витратності, за допомогою яких можна визначити

раціональний розподіл виконання технічного обслуговування та ремонту та підвищити ефективність роботи окремого підрозділу залізниці;

- набув подальшого розвитку метод опису ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів, що включає розподілення успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту, що, на відміну від існуючого, включає ймовірність допущеної технологічної помилки, що дозволяє обрати і оцінити методи і засоби діагностики.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, а також розроблена методика та моделі можуть бути використані для зниження ризиків на залізничному транспорті, а також для випадку застосування методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів для оцінки, прогнозування та підвищення безпеки руху на залізничному транспорті.

Отримані результати роботи використовуються:

- у виробничому підрозділі служби вагонного господарства «Ремонтне вагонне депо Батуринська» регіональної філії «Придніпровська залізниця» АТ «Українська залізниця», для якого надано рекомендації по підвищенню безпеки руху поїздів (акт впровадження від 15.03.2020 р.);

- у навчальному процесі під час підготовки бакалаврів та магістрів зі спеціальності 273 Залізничний транспорт (акт впровадження від 15.03.2021).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки та результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Дисертантом одноосібно здійснено пошук, аналіз та опрацювання літературних джерел, оформлення табличних та графічних даних, а також текстів усіх статей. Мету та постановку завдання, обговорення та аналіз результатів досліджень здійснено разом із науковим керівником.

Особистий внесок дисертанта до основних робіт, опублікованих у співавторстві [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

У працях [2, 3, 4] здобувач брав безпосередню участь у пошуку, аналізі та опрацюванні літературних джерел, власноруч проводив оцінку безпеки

руху на залізничному транспорті, узагальнював отримані дані, оформляв табличні та графічні дані, а також брав безпосередню участь у формулюванні проблеми, обговоренні отриманих результатів та оформленні статей. Також у працях [3, 4] здобувач самостійно розробляв метод зниження ризиків на залізничному транспорті при застосуванні діагностики буксових вузлів вантажних вагонів, розробляв математичні моделі для оцінки безпеки руху, виконував розрахунки та перевіряв адекватність отриманих моделей.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на: 79-й та 80-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2019, 2020 рр.);

У повному обсязі дисертація доповідалася та була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі в Український державний університет науки і технологій (18.12.2023 р.).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковані у 6 наукових працях, з яких: 5 наукові статті у фахових виданнях, з яких 1 – у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Європейського Союзу, 9 публікації апробаційного характеру – тези доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 143 сторінок, з яких основного тексту – 116 сторінка, які містять 23 рисунків та 15 таблиць; список використаних джерел містить 204 найменувань і займає 27 сторінки.

1 СТАН ДОСЛІДЖУЄМОГО ПИТАННЯ

1.1 Аналіз літературних джерел

Для кожної країни є характерним застосування окремого підходу до оцінки безпеки руху поїздів на внутрішніх залізницях. Проте майже у всьому світі притримуються думки, що безпеку руху на залізницях і на інших видах транспорту можна трактувати через ризики, які можуть бути технічними, управлінськими тощо.

У [189] наведено ідентифікацію ризиків, які виникають в транспортній системі та на основі аналізу виявлених ризиків пропонуються заходи щодо оптимального функціонування транспортної системи. У даній роботі не враховано неможливість заміни засобу ланцюжка транспортної системи.

Існуючий метод кількісної оцінки ризиків в Нідерландах [186] для визначення безпеки руху при перевезенні орієнтований виключно на жертви зі смертельними наслідками.

Оскільки моніторинг залізничної інфраструктури є життєво важливим завданням для забезпечення безпеки руху залізничних перевезень, у роботі [162] для оцінки ризику відмов рейок використовують ймовірність їх відмов на основі відеоспостережень. Оцінку ризику відмов наведено для завантаженої залізничної колії голландської залізничної мережі. Отримані результати ілюструють практичність і ефективність запропонованого підходу, але не враховують вплив інших засобів транспорту і елементів інфраструктури залізниць.

У китайській стратегії розвитку [163] застосовуються 24 потенційні критичні ризики в залізничній сфері, які розділені на 6 груп. Одним з методів визначення безпеки є анкетування, спрямоване на збір даних про ймовірності виникнення ризику і його вплив; цей же метод використаний в роботі [177]. Інший метод для оцінки критичних ризиків в залізничній сфері, наведений в роботі [163], заснований на нечіткому аналізі чутливості, в якості критеріїв їх ідентифікації.

Управління ризиками на залізницях Австрії з методологічною управлінською основою наведено в [157], де показано, що зниження ризиків при прийнятті рішень можливо на трьох рівнях, причому кожному рівню характерні багатогалузеві партнерства. Недоліком даної системи оцінки є її громіздкість.

В рамках процесів прийняття рішень і прогнозування періодичних вимог до технічного обслуговування засобів транспорту при експлуатації залізниць Великобританії [187] прийнято, що вплив на безпеку руху можливий за допомогою концепції управління ризиками та управління активами. Практичного застосування розробок в роботі не приведено.

Для зниження ризиків у [180] запропонована методика аналізу дерева тимчасових помилок, за допомогою якого можуть бути визначені несправності засобів транспорту і час, необхідний на усунення несправностей та виконання технічного обслуговування для запобігання аварій. У даній роботі не враховано вплив людського фактору тощо.

Структура управління ризиками запропонована у роботі [176], яка служить для усунення причин аварій, що включає ідентифікацію небезпеки, аналіз ризику, оцінку, обробку та контроль. Недоліком даної системи є довга тривалість прийняття рішень.

У [14] розглядаються системи електропостачання залізниці як критичні для безпеки транспортної системи та обґрунтовується дана пропозиція при використанні аналізу ризиків, на підставі стандарту ІЕС 61508. Моделювання системи безпеки засноване на ланцюгах Маркова. Недоліком даної позиції є неврахування інших систем інфраструктури залізниць.

Виконаний аналіз ризиків у [19] привів до рішення по використанню стохастичних, а не детермінованих способів під час оцінки безпеки руху, тим не менш, ґрунтуючись на економічних показниках втрат. У роботі показані можливості переходу до залізничної системи методів аналізу ризиків, які використовуються в даний час для інших транспортних і технологічних систем. Але, в роботі не приведена реалізація такого переходу.

У роботі [7] представлені методи оцінки ризиків і можливості їх зниження при проектуванні, експлуатації та технічному обслуговуванні засобів транспорту залізниць. Особливу увагу приділено конструкцій вантажних вагонів і їх вплив на безпеку руху. Недоліком даної роботи є неврахування інших систем і засобів інфраструктури залізниць.

Безпека руху поїздів у [20] характеризується кількісною оцінкою людських помилок з вибором байєсової мережі для вивчення наслідків виявлених помилок. Байєсова мережа використовується для моделювання небезпечних подій, ризиків і кількісного аналізу безпеки руху поїздів. Однак технічний стан інфраструктури залізниці та його вплив на безпеку руху не враховується.

На українських залізницях [78-81] для оцінки стану безпеки руху поїздів застосовують абсолютні та питомі показники. В якості абсолютних показників використовують статистичні дані, такі як: кількість транспортних подій та кількість постраждалих осіб, що загинули або були травмовані, а в якості питомих – похідні від статистичних даних.

1.2 Аналіз ризиків, що виникають на залізничному транспорті при перевезеннях

Відповідно до поняття ризиків на початку будемо їх ототожнювати з транспортними подіями, що відбулися на залізницях.

У щорічному аналізі стану безпеки руху в структурі АТ «Українські залізниці» використовуються статистичні показники: кількість транспортних подій, розподіл яких приведено на рисунку 1.1, та кількість постраждалих осіб, що загинули або були травмовані, розподіл яких приведено в таблиця 1.1.

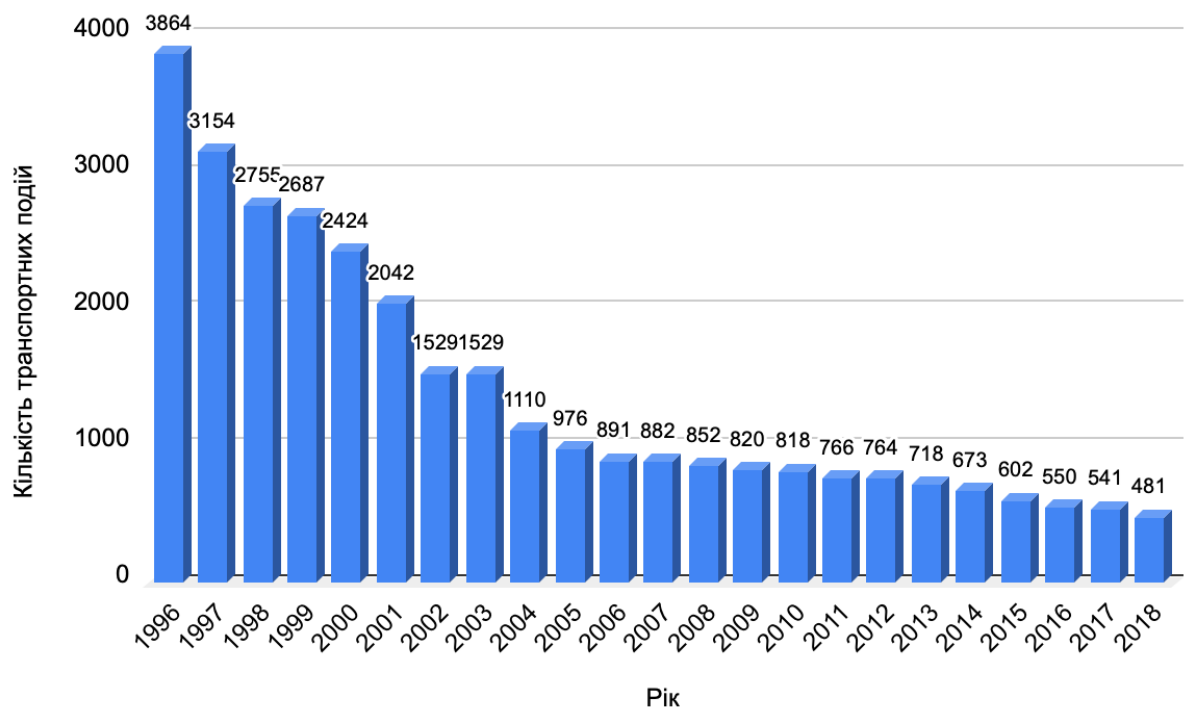


Рисунок 1.1. Кількість транспортних подій в структурі АТ «Українські залізниці» у 1996-2018 роках

Класифікація транспортних подій здійснюється на підставі Положення про класифікацію транспортних подій на залізницях України, затвердженого наказом Міністерства інфраструктури України від 12.01.2012 № 12 (до 08.08.2017), та діючого Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті, що затвердженого наказом Міністерства Інфраструктури України від 03.07.2017 № 235. Так, до зазначеної дати, транспортні події поділялися на катастрофи, аварії, серйозні інциденти та інциденти. Сьогодні ж, згідно чинного наказу, це катастрофи (аварії із серйозними наслідками), аварії та інциденти [87, 88]. Кількість транспортних подій на залізничному транспорті розподілених за видами згідно класифікації приведена на рисунок 1.2 та рисунку 1.3.

Таблиця 1.1 – Кількість осіб, що постраждали в результаті транспортних подій на залізничному транспорті [86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94]

Транспортна подія	2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	загинуло	травмовано	загинуло	травмовано	загинуло	травмовано	загинуло	травмовано	загинуло	травмовано	загинуло	травмовано	загинуло	травмовано	загинуло	травмовано
Катастрофи	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	11	–	–
Аварії	–	–	–	3	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	3
Серйозні інциденти	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Інциденти	–	2	–	7	–	–	–	–	–	3	–	1	–	1	–	–
Всього	–	2	–	10	–	–	–	–	–	3	–	2	–	12	–	3

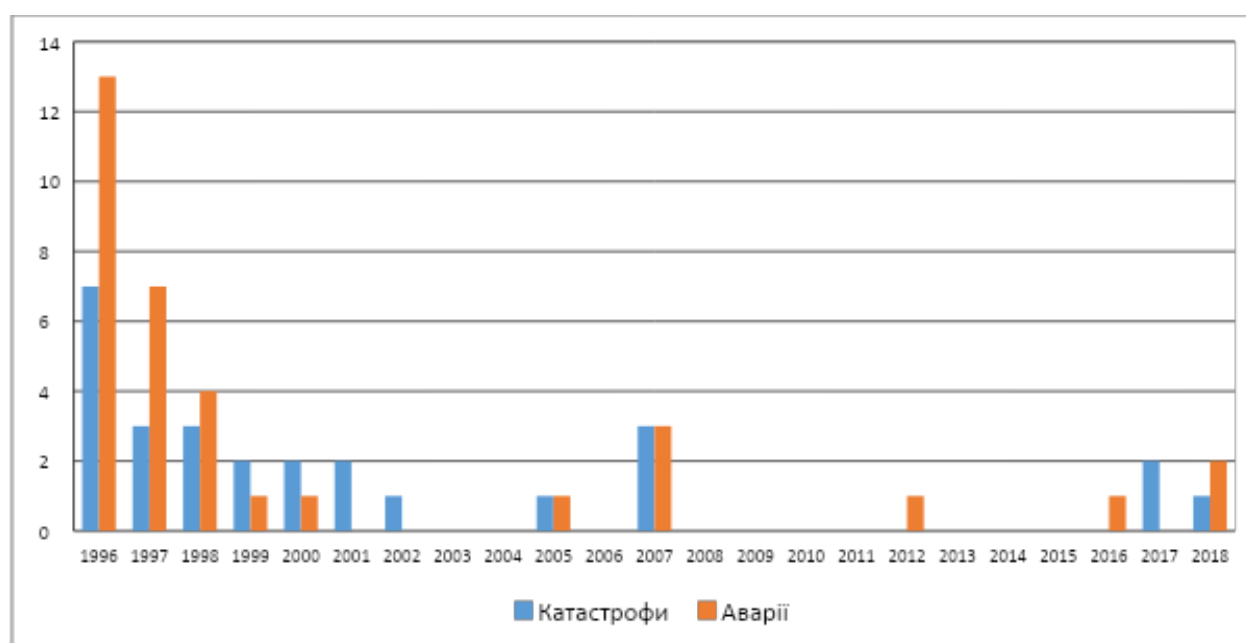


Рисунок 1.2. Кількість катастроф та аварій на залізничному транспорті за 1996-2018 рр.

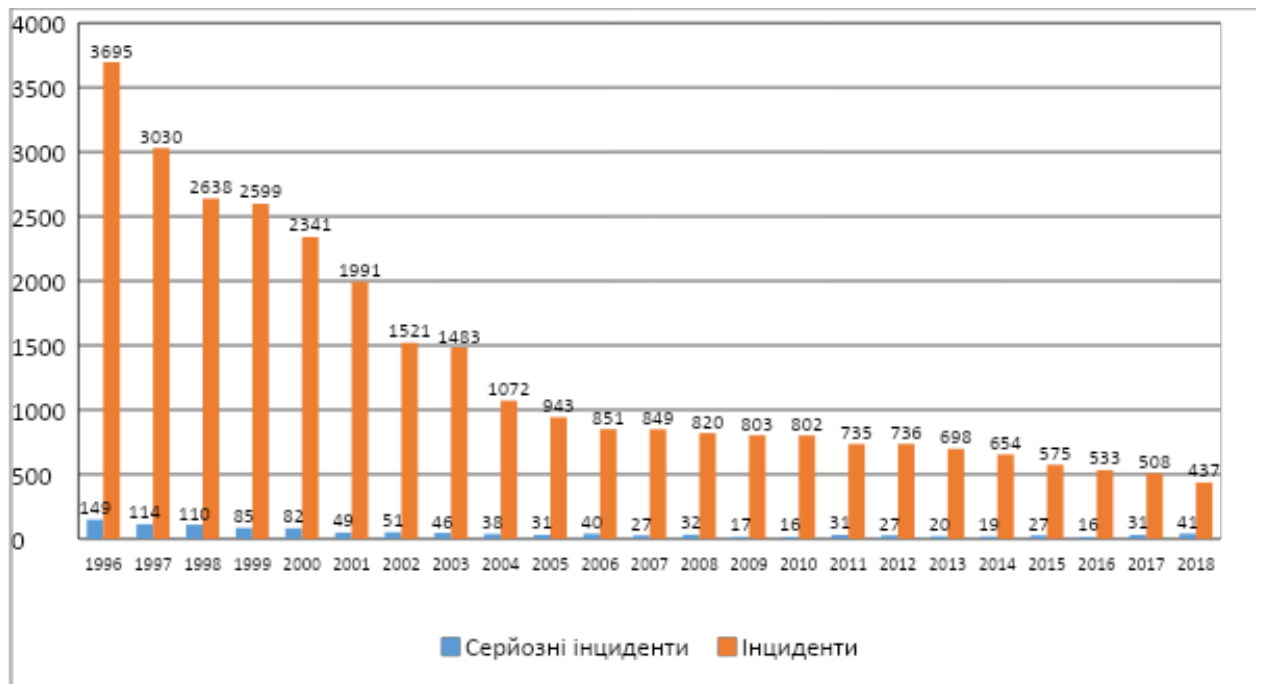
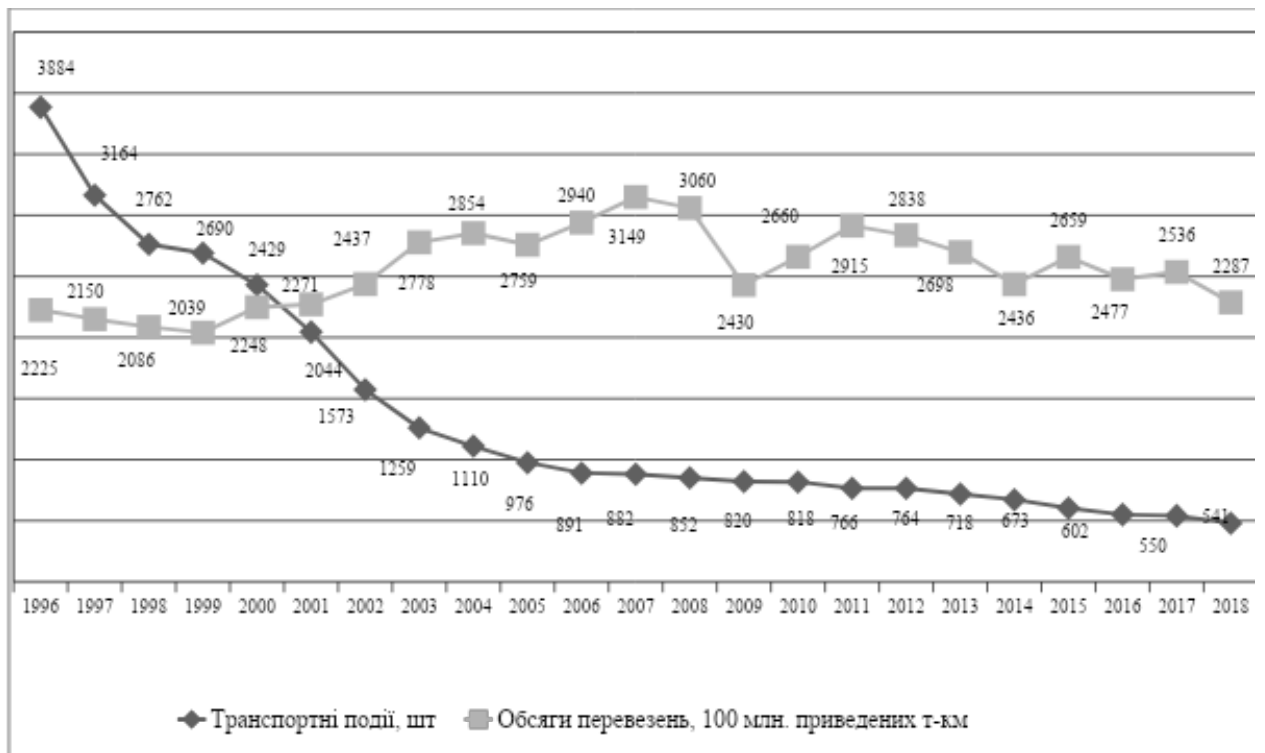


Рисунок 1.3. Кількість серйозних інцидентів та інцидентів на залізничному транспорті за 1996-2018 рр.

Відповідно до [60] основними питомими показниками оцінки стану безпеки руху поїздів є кількість:

- транспортних подій на 1 млн. приведених т-км;
- загиблих на 100 подій;
- травмованих на 100 подій.

Для визначення питомого показника за першим критерієм розглянемо динаміку кількості транспортних подій та обсягів перевезень, що приведені на рисунку 1.4.



Рисунку 1.4. Динаміка кількості транспортних подій на залізничному транспорті та обсягів перевезень за 1996-2018 рр.

За даними приведеними на рисунку 1.4 та в таблиці 1.1 можемо визначити питомі показники стану безпеки руху поїздів за 2011-2018 рік, які приведено в таблиці. 1.2.

Крім передбачених [60] та розглянутих показників, при оцінці безпеки на залізницях використовуються також додаткові показники, що відображаються у звітах, а саме:

- кількість виявлених зауважень, які виявлено при внутрішніх та зовнішніх перевірках;

Кількість недоліків, різноманітних несправностей і відступів від нормативних параметрів під час проведення ремонту рухомого складу, утримання колії, пристроїв електропостачання та СЦБ, проведення оглядів тощо, виявлених ревізорами з безпеки руху АТ «Українські залізниці» під час проведення внутрішніх перевірок господарств та виданих за їх результатами приписів приведені на рисунку 1.5

Таблиця 1.2 – Питомі показники стану безпеки руху АТ «Українські залізниці»

Показник	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Кількість транспортних подій на 1 млн. приведених т-км	0,0026	0,0027	0,0027	0,0028	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021
Кількість травмованих на 100 подій	0,26	1,32	–	–	0,5	0,36	2,21	0,62

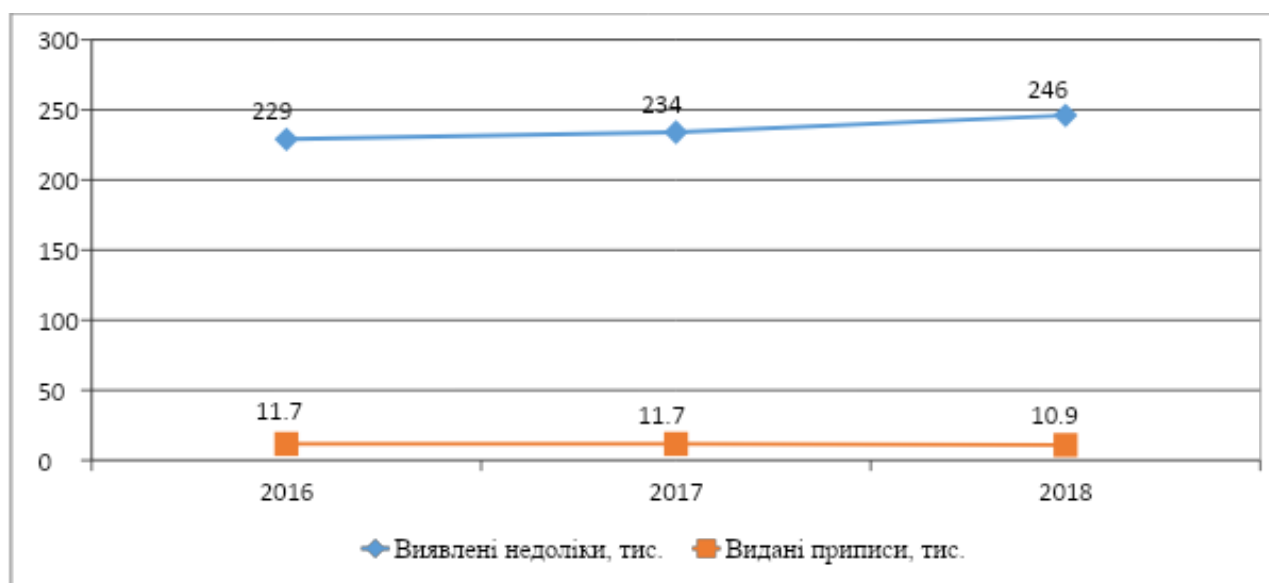


Рисунок 1.5. Кількість недоліків виявлених під час проведення внутрішніх перевірок господарств АТ «Українські залізниці» та виданих за їх результатами приписів протягом 2016-2018 рр.

Державною службою України з безпеки на транспорті протягом 2016 р. організовано проведення 196 заходів державного нагляду та контролю на залізничному транспорті – 130 планових та 66 позапланових перевірок суб'єктів господарювання з питань дотримання ними вимог законодавства, норм і стандартів у сфері залізничного транспорту. В 2017 році, у зв'язку з введенням мораторію на здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) [67], проведено лише 5 позапланових перевірок, в 2018 – 26 перевірок [70, 71, 72].

У ході проведених перевірок виявлено 1813 порушень законодавства в 2016 році, 425 у 2017 році та 249 в 2018 році. У зв'язку з чим складено та надано керівникам суб'єктів господарювання 109 приписів з вимогами щодо усунення виявлених порушень та недоліків у 2016 році, 4 приписи у 2017 році та 23 акти і 4 приписи у 2018 році [70, 71, 72].

- кількість працівників, яких притягнуто до дисциплінарної відповідальності за результатами перевірок;

Дані щодо кількості працівників ПАТ «Укрзалізниця», притягнутих до відповідальності за порушення вимог нормативних документів з питань безпеки руху протягом 2016-2018 рр. приведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Кількість працівників, яких притягнуто до відповідальності за порушення вимог нормативних документів з питань безпеки руху

	2016	2017	2018
Кількість працівників, яких притягнуто до відповідальності за порушення вимог нормативних документів з питань безпеки руху	2383	2077	1731
з них звільнено	42	20	49
з них оголошено догани	2341	2057	1682

- обсяги збитків, завданих в результаті транспортних подій, приведені на рисунку 1.6;

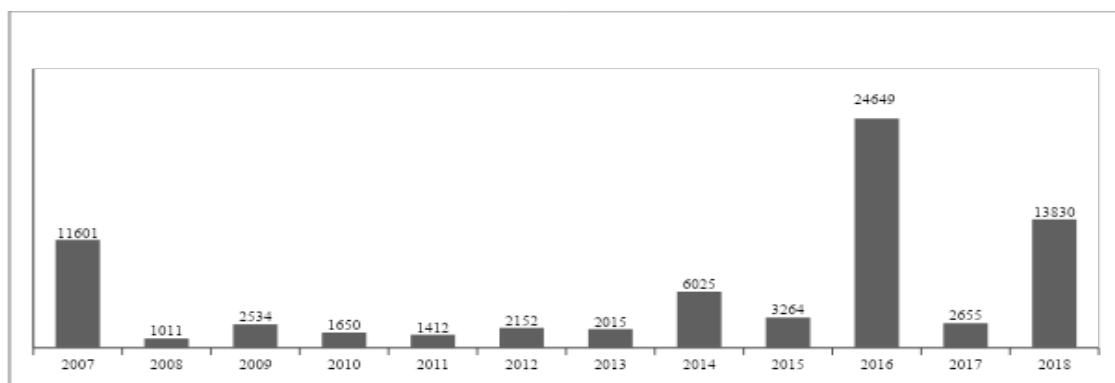


Рисунок 1.6. Обсяги збитків, завданих в результаті транспортних подій АТ «Українські залізниці» за 2007 - 2018 рр. (тис. грн.)

- середня кількість транспортних подій на добу, приведена на рисунку 1.7.

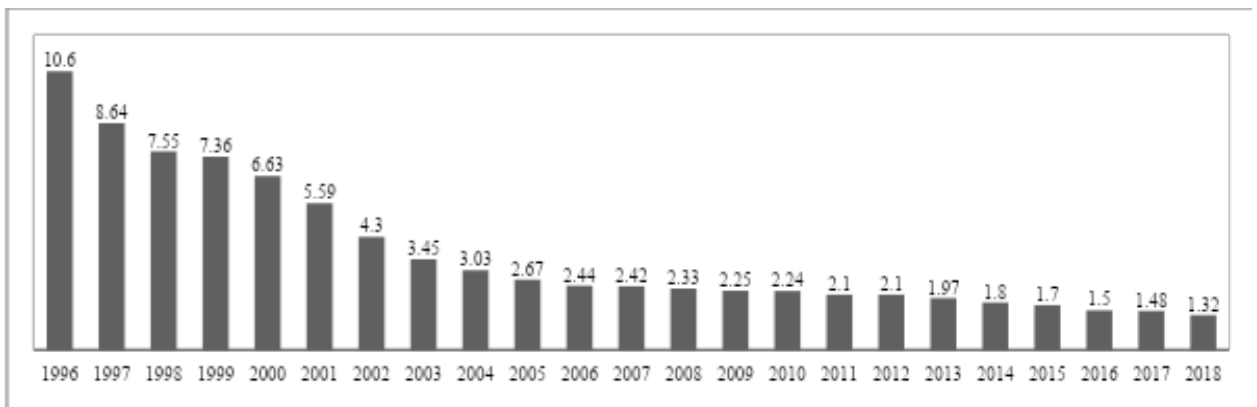


Рисунок 1.7. Середня кількість транспортних подій в АТ «Українські залізниці» на добу за 1996-2018 рр.

Для реалізації законодавчо закріплених методів оцінки стану безпеки на залізничному транспорті України, на сьогодні, застосовуються абсолютні показники, такі як [15, 16]: кількість транспортних подій та кількість постраждалих осіб, що загинули або були травмовані в їх результаті, та питомі показники: кількість транспортних подій на 1 млн. приведених т-км та кількість загиблих та травмованих на 100 подій.

Аналіз зазначених показників вказує на те, що протягом 2010-2018 рр. в динаміці першого показника відзначається щорічне зменшення кількості транспортних подій. Загальний рівень зниження показника, протягом розглянутих років, складає майже 40%. Аналогічне зменшення характерне і для відповідного питомого показника. Оскільки абсолютний показник кількості осіб, що загинули в результаті транспортної події протягом аналізованого періоду відсутній, розрахунок відповідного питомого показника неможливий. Аналіз наступного показника, а саме кількості травмованих осіб, свідчить про його відсутність у 2013-2014 рр., на тлі якої у 2017 році, в зв'язку з допущенням катастрофи, відбулося значне зростання. На фоні цього факту для подальшої динаміки цього показника стане характерним його зменшення.

Зважаючи на те, що політикою АТ «Українські залізниці», підвищення безпеки руху визначено як один з пріоритетних напрямів діяльності, а також

враховуючи мало інформативність розглянутих показників, інтегровані звіти товариства насичені додатковими показниками, проте, як правило, кожен з них свідчить про стійку динаміку зниження аварійності. Загальні позитивні обставини підвищення стану безпеки руху надійно підкріплені інформацією про обсяги капіталовкладень на оновлення і капітальний ремонт рухомого складу та інфраструктури, а також підвищення кваліфікації працівників, в тому числі і з питань безпеки руху. Безперечно ці заходи мають неабиякий вплив на підвищення безпеки, але іноді їх висвітлення викликає ще більше питань. З іншого боку, зрозуміло що у випадку коли підприємство не зобов'язане оприлюднювати певні дані – а має право вибору, то обрані будуть тільки ті дані, які покращують загальну картину. Проте розглядаючи одні й ті самі показники під різними кутами зору можемо дійти іншого висновку.

Аналіз кількості транспортних подій у розрізі структурних підрозділів АТ «Українські залізниці», які приведено на рисунку 1.8, дозволяє стверджувати, що протягом останніх років найбільше число випадків відбувається у департаментах локомотивного та вагонного господарств, приміських пасажирських перевезень, колії та споруд, електрифікації та електропостачання.

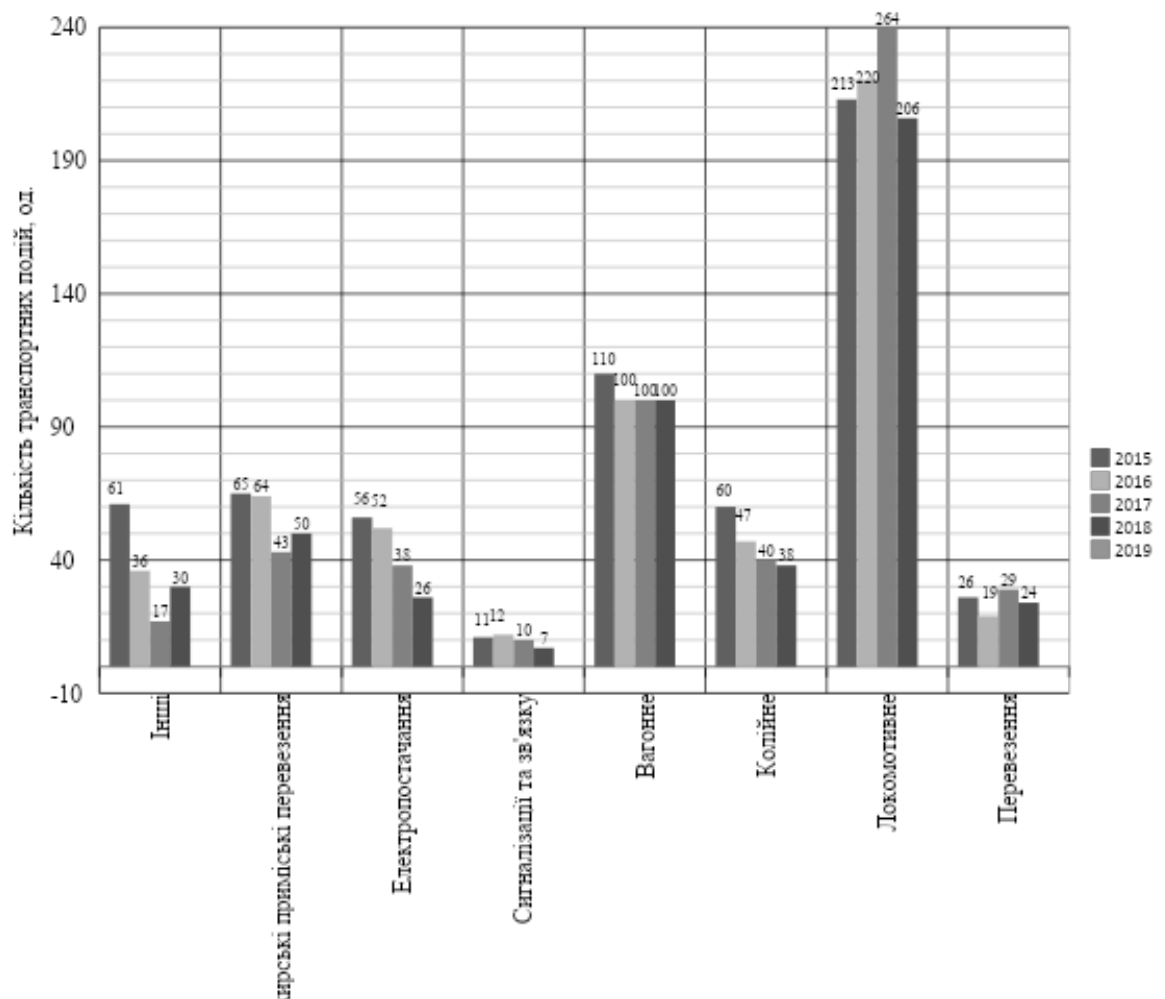


Рисунок 1.8. Кількість транспортних подій у розрізі структурних підрозділів АТ «Українські залізниці» за 2015-2019 рр.

Питома вага кількості транспортних подій у перелічених господарствах складає близько 85%. Проте, особливу увагу привертає не скільки їх кількість, скільки причини виникнення.

Так, при проведенні аналізу причин транспортних подій визначено, що у локомотивному господарстві майже 80% випадків допущено у зв'язку з незадовільним технічним станом локомотивів (в основному через неякісний ремонт та через експлуатацію рухомого складу і його обладнання поза межами гарантійних термінів служби) та елементів інфраструктури, а отже з технічних причин.

Найбільша частка транспортних подій у вагонному господарстві припадає на причини несправностей і відмов в роботі гальмівного

обладнання та нагрівання буксових вузлів, проте всі випадки стали можливими з технічних причин.

Серед причин допущених транспортних подій у господарстві приміських пасажирських перевезень в середньому 85% займають несправності рухомого складу, що виникають через неякісний деповський ремонт та технічне обслуговування, а також внаслідок експлуатації моторвагонного рухомого складу поза межами гарантійних термінів служби.

У роботі колійного господарства майже 90% транспортних подій, що допускаються щорічно, виникають з причин незадовільного поточного утримання колії.

В загальній кількості транспортних подій у господарстві електрифікації та електропостачання 80% допускається через відмови в контактній мережі та в роботі технічних засобів.

Таким чином, незважаючи на те, що аналіз причин виникнення транспортних подій відіграє неабияку роль у їх попередженні, у звітах АТ «Українські залізниці» належної уваги йому не приділено. Нажаль, сьогодні, розглянути цей показник можливо лише шляхом узагальнення інформації, яка фіксується господарствами. Результати отримані в даній роботі дозволяють стверджувати, що переважна більшість транспортних подій в АТ «Українські залізниці» допускається з технічних та технологічних причин.

До того ж, необхідно зауважити, що жоден з показників, передбачених Положенням не дозволяє оцінити стан безпеки в окремому господарстві, тому виникає необхідність застосування поняття ризиків до оцінки стану безпеки в структурних підрозділах АТ «Українські залізниці».

Оскільки у роботі досліджуються вантажні вагони, то виконаємо аналіз вагонного господарства окремо.

Несправності гальмівного обладнання вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій в 2017-2018 рр. наведено в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 – Несправності гальмівного обладнання вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій за 2017-2018 рр.

№ п/п	Найменування несправності	УЗ	Донецька	Львівська	Одеська	Південна	Південно-Західна	Придніпровська
1	Заклинювання гальмівної важільної передачі	3				2		1
2	Випадіння валика підвіски башмака	1				1		
3	Завал «мертвої точки» вертикального важеля	4					1	3
4	Відсутність запобіжної скоби	2					1	1
5	Провисання скоби рівномірного зносу	1			1			
6	Обледеніння гальмівної важільної передачі	1				1		
7	Відсутність роз'єднувального крану	1			1			
8	Несправність кінцевого крану	2			1			
9	Незабезпечення гальмовим ефектом	2				1	1	
10	Невірні дії працівників	4		1	1		1	1
11	Перекриті кінцеві крани	1			1			
12	Неякісні гумові прокладки	1						1
13	Знос різьби у місті з'єднання роз'єднувального крану з трійником	3	1		1			1
14	Постановка магістральної частини повітророзподільника без відповідного ремонту	1				1		
15	Відсутність двох шпильок кріплення магістральної частини	1					1	
16	Несправність повітророзподільника	1					1	
17	Невірна постановка режимів гальмування	1			1			1
18	Обрив безрізьбового з'єднання підвідної трубки з	1						1

	трійником							
19	Несправність триангеля	2		1		1		
ВСЬОГО		35	1	2	9	7	3	10

З таблиці. 1.4 видно, що найбільше відмов гальмівного обладнання вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій припадає на технічні несправності, що трапилися під час експлуатації.

Несправності візків вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій в 2017-2018 рр. приведено в таблиці. 1.5.

Таблиця 1.5 – Несправності візків вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій за 2017-2018 рр.

№ п/п	Причина	УЗ	Донецька	Львівська	Одеська	Південна	Південно-Західна	Придніпровська
1	Знос опорної поверхні буксового прорізу	3	1				2	
2	Невідповідність зазорів ковзунів	1						1
3	Сукупність несправностей візка	3					2	1
4	Злам боковини	1						1
5	Падіння гальмівної колодки	1						1
ВСЬОГО		9	1	0	0	0	4	4

З таблиці. 1.5 можна твердити, що найбільше відмов візків вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій припадає на технічні несправності, що трапилися під час експлуатації.

Несправності автозчепів вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій в 2017-2018 рр. приведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Несправності автозчепів вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій за 2017-2018 рр.

№ п/п	Причина	УЗ	Донецьк а	Львівськ а	Одеська	Південна	Південно -Західна	Придні- провська
1	Злам клина тягового хомута	1			1			
2	Неповне зчеплення автозчепів	3	1	1			1	
3	Злам хвостовика	1						1
4	Випадіння валика підйомника	1				1		
5	Нетиповий клин Ш-6-ТО-4	1						1
6	Підклинювання автозчепу	1						1
7	Понаднормова різниця центрів	1						1
8	Невідповідність корпусу автозчепу	1						
9	Злам розчіпного приводу	1		1				
10	Відсутність кріплення у тяговому хомуті автозчепу СА-3	1						1
ВСЬОГО		12	1	2	1	1	1	4

Дані, наведені в таблиці. 1.6, вказують на те, що найбільша кількість технічних несправностей автозчепів вантажних вагонів приводить до відмов та наступних транспортних подій.

Несправності колісних пар вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій в 2017-2018 рр. приведено в таблиці 1.7. При цьому, несправності колісних пар вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій мають технічний характер під час експлуатації

Таблиця 1.7 – Несправності колісних пар вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій за 2017-2018 рр.

№ п/п	Причина	Кількість
1	Понаднормова різниця товщини гребенів	2
2	Товщина ободу колісної пари нижча мінімально допустимої	2
ВСЬОГО		4

Несправності роликів вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій в 2017-2018 рр. приведено в таблиці. 1.8.

З таблиці. 1.8 можна стверджувати, що найбільше відмов роликів вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій припадає на технічні несправності, що трапилися під час експлуатації. Але, слід зазначити, що майже всі несправності трапилися через недотримання технології технічного обслуговування чи ремонту.

Несправності кузовів вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій в 2017-2018 рр. приведено в таблиці 1.9.

Також з таблиці 1.9 слідує, що відмови, які призвели до транспортних подій обумовлені технічними несправностями кузовів вантажних вагонів, що сталися під час експлуатації.

Таблиця 1.8 – Несправності роликів букс вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій за 2017-2018 рр.

№ п/п	Найменування несправності	УЗ	Донецька	Львівська	Одеська	Південна	Південно- Західна	Придні- провська
1	Різниця радіальних зазорів	7	3					4
2	Невірний підбір гайки М 110	5	1				1	3
3	Понаднормовий знос опорної поверхні букси	4	2	1	1			
4	Руйнування роликової букси	2					1	
5	Втрата мастила своїх властивостей	2				1	2	
6	Невірний підбір підшипників	2			1	1		
7	Наявність домішок в мастилі	3			1		1	1
8	Задири на лабіринтному кільці	1						
9	Проворот внутрішнього кільця	3						2
10	Надири на торцях роликів	3	2					1
11	Нагрів касетної букси	2					2	
12	Тріщина упорного кільця	1						
13	Защемлення буксового вузла	2					1	
14	Овальність зовнішнього кільця переднього підшипника	1						1
ВСЬОГО		38	7	1	4	2	8	12

Таблиця 1.9 – Несправності кузовів вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій за 2017-2018 рр.

№ п/п	Причина	УЗ	Донецька	Львівська	Одеська	Південна	Південно-Західна	Придніпровська
1.	Несправність вантажо-розвантажувальних пристроїв	3			1	1		1
2.	Тара вагона нижча за паспортну	2		1			1	
ВСЬОГО		5	0	1	1	1	1	1

Кількість і розподіл допущених транспортних подій з вини вагоноремонтних підприємств АТ «Українські залізниці» по видах несправностей за 2017-2018 рр. наведені в таблиці. 1.10.

Таблиця 1.10 – Кількість і розподіл допущених транспортних подій з вини вагоноремонтних підприємств АТ «Українські залізниці» по видах несправностей за 2017-2018 рр.

Підприємство			Несправності							12 місяців 2018р.	12 місяців 2017р.
			гальмівного обладнання	буксового вузла	візка	автозчепу	кузова	колійної пари	інші		
	ФІЛІЇ		2	5	0	1	1	0	0	9	7
ВРЗ	Дарниця	90		2						2	0
ВРЗ	Стрий	124	2	1		1	1			5	0
ВРЗ	Панютино	115		2						2	5
	РВК	527								0	2
	Донецька		1	7	1	1	0	0	0	10	11
ВЧДЕР	Красний Лиман	437		2		1				3	4
ВЧДЕ	Комунарськ	432								0	0
ВЧДЕ	Волноваха	464	1							1	2
ВЧДР	Слов'янськ	435			1					1	2
ВЧДР	Костянтинівка	436		1						1	1

Підприємство			Несправності							12 місяців 2018р.	12 місяців 2017р.
			гальмівного обладнання	буксового вузла	візка	автозчепу	кузова	колісної пари	інші		
ВЧДР	Красноармійськ	465		3						3	2
	Львівська		2	2	0	2	1	1	0	8	9
ВЧДЕР	Клепарів	854								0	1
ВЧДЕ	Ужгород	857								0	3
ВЧДЕ	Коломия	4182								0	1
ВЧДЕ	Тернопіль	860				1				1	0
ВЧДЕ	Ковель	1238	2			1				3	0
ВЧДР	Здолбунів	868		2			1	1		4	1
ВЧДР	Дрогобич	862								0	3
	Одеська		9	4	0	1	1	0	0	15	15
ВЧДЕР	Херсон	767								0	3
ВЧДЕ	Подільськ	525	1	1						2	2
ВЧДЕ	Одеса-Застава-1	523	3				1			4	4
ВЧДЕ	Знам'янка	4183	3							3	3
ВЧДР	Помічна	521	2	2						4	2
ВЧДР	Шевченко	522		1						1	0
ВЧДР	Знам'янка	519				1				1	1
	Південна		7	2	0	1	0	0	0	10	11
ВЧДЕР	Основа	543	3	1						4	3
ВЧДЕ	Кременчук	546	3	1		1				5	4
ВЧДЕ	Куп'янськ	4181	1							1	1
ВЧДР	Куп'янськ	429								0	2
ВЧДР	Харків-Сорт.	541								0	1
ВЧДР	Полтава	545								0	0
	Південно-Західна		3	8	4	1	0	0	0	16	19
ВЧДЕР	Конотоп	402		1	2					3	2
ВЧДЕ	Дарниця	532	1	1						2	4
ВЧДЕ	Жмеринка	4185	2	3		1				6	3
ВЧДЕ	Козятин	4184			1					1	3
ВЧДР	Коростень	533			1					1	1
ВЧДР	Жмеринка	529		1						1	4
ВЧДР	Козятин	530								0	1
ВЧДР	Шепетівка	535		2						2	0
	Придніпровська		10	12	4	3	2	1	0	32	28
ВЧДЕ	Камянське	455	1	1						2	1
ВЧДЕ	НижньодніпровськВ.	4187	1		1					2	3
ВЧДЕ	Батуринська	4186	5	1	1		1	1		9	6
ВЧДР	Нижньодніпровськ-В	456								0	4
ВЧДР	Пологи	460		1	1		1			3	1
ВЧДР	Мелітополь	461		1		1				2	1
ВЧДР	П'ятихатки	462		1						1	0
ВЧДР	Батуринська	498	1	4						5	5
ВЧДР	Мудрьона	471	1	1		1				3	1

Підприємство			Несправності							12 місяців 2018р.	12 місяців 2017р.
			гальмівного обладнання	буксового вузла	візка	автозчепу	кузова	колійної пари	інші		
ВЧДР	Верхівцеве	476				1				1	0
ВЧДЕР	Запоріжжя-Ліве	478	1	2	1					4	6
Всього з вини вагоноремонтних підприємств Укрзалізниці			35	37	9	12	5	2	0	100	100

Можемо бачити з таблиці. 1.10, що найбільше допущених транспортних подій з вини вагоноремонтних підприємств АТ «Українські залізниці» по видам несправностей за 2017-2018 рр. припадає на підприємства Придніпровської залізниці.

Також, на рисунку 1.9, приведемо розподілення відчеплень вантажних вагонів через несправності буксових вузлів в 2017/2018 р.р.

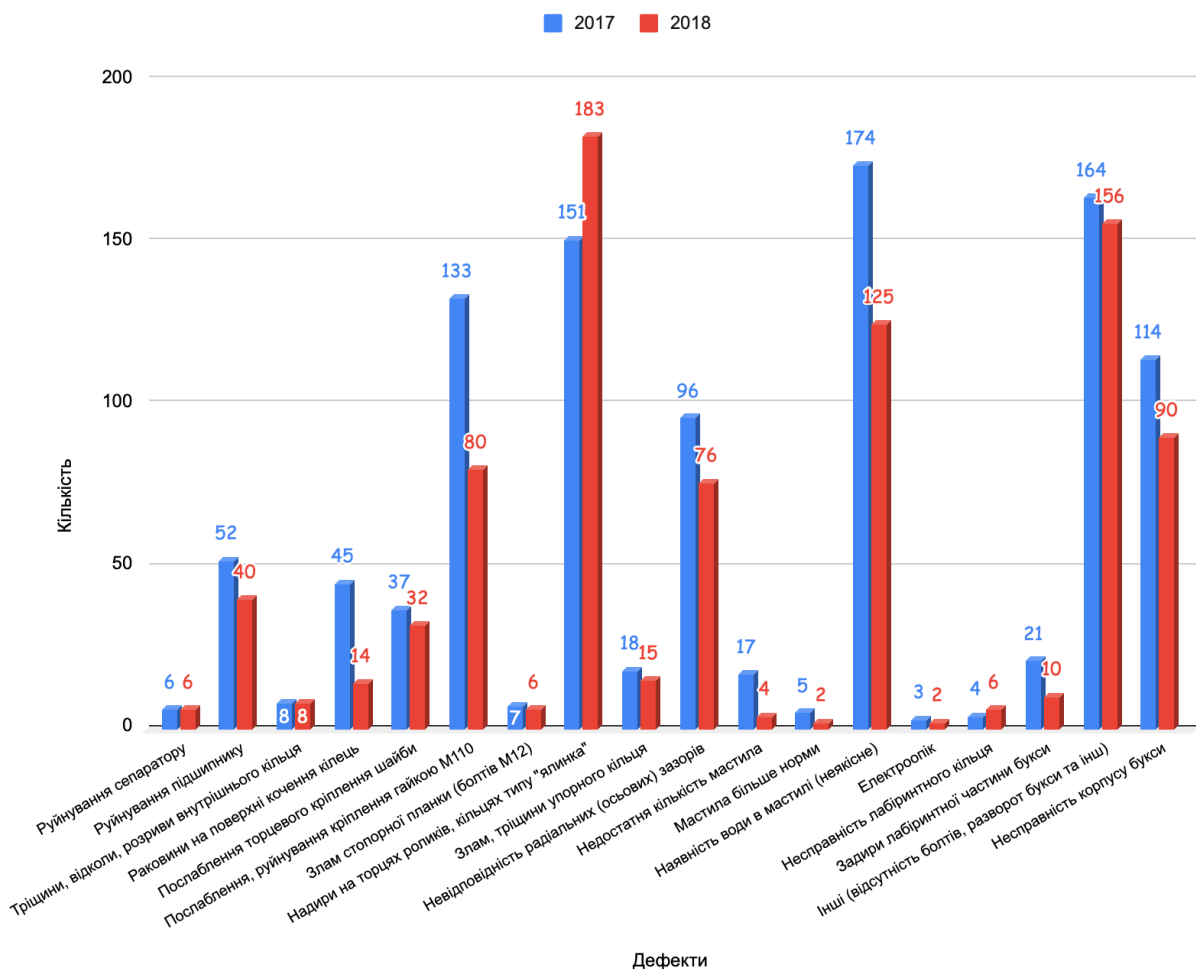


Рисунок 1.9. Діаграма відчеплення вагонів через несправності буксових вузлів в 2017/2018р.р.

Відчеплення вагонів в поточний ремонт по несправностям буксового вузла з вини вагоноремонтних підприємств АТ «Українські залізниці» у 2017-2018 рр. приведено в таблиці. 1.11.

Таблиця 1.11 – Відчеплення вагонів в поточний ремонт по несправностям буксового вузла з вини вагоноремонтних підприємств АТ «Українські залізниці» 2017-2018 рр.

Підприємство			9 міс. 201 8р.	жо вте нь	лис топ ад	груд ень	2018р.	2017р.
	ФІЛІЇ		30	1	4	2	37	20

	Дарниця	90	6	1	1		8	6
	Укрспецвагон	115	12		1	1	14	7
	Стрий	124	11		2	1	14	6
	Укррефтранс	527	1				1	1
	РФ Донецька		61	0	0	2	63	64
ВЧД	Попасна	433	7			1	8	12
ВЧД	Слов'янськ	435	3				3	5
ВЧД	Костянтинівка	436	7				7	11
ВЧД	Красний Лиман	437	14				14	15
ВЧД	Красноармійськ	465	30			1	31	33
	РФ Львівська		21	1	2	4	28	41
ВЧД	Клепарів	854	2		1	1	3	4
ВЧД	Ужгород	857	3			1	3	12
ВЧД	Коломия	859	2				2	2
ВЧД	Дрогобич	862	2	1	1	1	5	10
ВЧД	Здолбунів	868	5			1	6	13
	РФ Одеська		23	1	1	0	25	52
ВЧД	Знам'янка	519	2				2	6
ВЧД	Помічна	521	10	1			11	16
ВЧД	Ім.Т.Шевченка	522	4				4	11
ВЧД	Одеса-Застава-1	523	4				4	5
ВЧД	Котовськ	525	1		1		2	2
ВЧД	Херсон	767	2				2	12
	РФ Південна		7	2	1	1	11	40
ВЧД	Куп'янськ	429	4			1	5	14
ВЧД	Харків-Сорт.	541	0	2			2	8
ВЧД	Основа	543	0				0	6
ВЧД	Полтава	545	3				3	5
ВЧД	Кременчук	546	0		1		1	5
	РФ Південно-Західна		33	3	3	2	41	30
ВЧД	Конотоп	402	5			1	6	3
ВЧД	Жмеринка	529	1				1	3
ВЧД	Козятин	530	1				1	4
ВЧД	Дарниця	532	9			1	10	8
ВЧД	Коростень	533	15	3			18	9
ВЧД	Шепетівка	535	2		3		5	3
	РФ Придніпровська		43	5	6	2	56	72
ВЧД	Нижньодніпровськ-Вузол	456	7				7	10
ВЧД	Пологи	460	5	1			6	11
ВЧД	Мелітополь	461	7				7	10
ВЧД	П'ятихатки	462	0			1	1	6
ВЧД	Мудрьона	471	6	2	1		9	5
ВЧД	Верхівцеве	476	2		1		3	1
ВЧД	Запоріжжя-Ліве	478	1		1		2	2
ВЧД	Батуринська	498	15	2	3	1	21	25
	Всього		218	13	17	13	261	335

Проаналізувавши дані з транспортних подій допущених у вагонному господарстві протягом 2015-2018 рр. приведемо їх основні причини у таблиці. 1.12.

Таблиця 1.12 – Основні причини транспортних подій, допущених у вагонному господарстві протягом 2015-2018 рр.

Причина допущеної транспортної події	2015		2016		2017		2018	
	Кількість випадків	Частка в загальному обсязі	Кількість випадків	Частка в загальному обсязі	Кількість випадків	Частка в загальному обсязі	Кількість випадків	Частка в загальному обсязі
несправність та відмова в роботі гальмівного обладнання	42	38,2%	34	34,0%	40	40,0%	35	35,0%
нагрівання буксових вузлів	34	30,9%	26	26,0%	35	35,0%	37	37,0%
несправності кузова вагона	9	8,2%	8	8,0%	1	1,0%	2	2,0%
несправності автозчепів, що призвело до саморозчеплень	6	5,5%	9	9,0%	10	10,0%	13	13,0%
несправність візків	16	14,5%	14	14,0%	12	12,0%	10	10,0%
несправність колісних пар	3	2,7%	2	2,0%	1	1,0%	3	3,0%
незадовільна підготовка вагонів до передислокації	-	-	1	1,0%		0,0%	-	-
інші технічні несправності	-	-	6	6,0%	1	0,0%	-	-
Всього випадків	110	100%	100	100%	100	100%	100	100%

З даних, приведених у таблиці. 1.4, видно, що найбільша частка транспортних подій у вагонному господарстві відбулася з причини несправностей і відмов в роботі гальмівного обладнання та буксових вузлів. Усі випадки стали можливими з технічних причин, але слід зазначити про порушення технологічного процесу технічного обслуговування та ремонту, що виконують звичайні люди, які також, як і всі – помиляються.

Підсумовуючи, слід зазначити, що інформація про відмови елементів вантажних вагонів, які відбуваються в процесі експлуатації являє собою набір статистичних даних. В таких даних наводиться аналіз відмов.

Використовуючи наявну інформацію з відмов елементів вантажних вагонів можна стверджувати, що найбільшу кількість відмов при порушенні технологічного процесу технічного обслуговування та ремонту пов'язано з буксовими вузлами. Проведений аналіз відмов буксових вузлів дозволив встановити, що всі відмови пов'язані з неякісним ремонтом і технічним обслуговуванням, на процес яких сильно впливає людський фактор. Для зниження ризиків, які можуть бути допущені під час ремонту і технічного обслуговування вантажних вагонів необхідним є впровадження методу діагностики буксових вузлів і розрахунку ризиків для оцінки безпеки руху на залізничному транспорті.

1.3 Методи і засоби діагностування буксового вузла вантажних вагонів для зниження ризиків

Технічне обслуговування колісних пар і буксових вузлів вантажних вагонів, контроль параметрів колісних пар під вантажними вагонами проводять відповідно до вимог Інструкції оглядача вагонів:

- на станціях формування і розформування поїздів, з ходу в момент прибуття, після прибуття і перед відправленням;
- на станціях, де графіком руху поїздів передбачено стоянку для технічного огляду вантажних вагонів;
- в пунктах підготовки вантажних вагонів до перевезень і перед постановкою в поїзд;
- після аварій поїздів, зіткнень рухомого складу;
- при поточному ремонті вантажних вагонів.

При технічному обслуговуванні колісних пар і буксових вузлів під вагонами виконують, в тому числі, технічний контроль буксових вузлів, який здійснюється:

- засобами діагностики на ходу поїзда;
- працівниками вагонних депо і пунктів технічного обслуговування, які здійснюють експлуатаційну діяльність.

При зустрічі вантажного поїзда з ходу виявляють зовнішні ознаки ненормальної роботи буксових вузлів: скрегіт, клацання, іскріння, задимлення, поява запаху, рух колісної пари юзом.

При деповському ремонті буксових вузлів вантажних вагонів практично всі дії з дефектації відбуваються на основі візуального огляду.

Для зниження ризиків та підвищення безпеки руху, підтримки технічного стану та експлуатаційної надійності, як усього рухомого складу, так і окремих вузлів, таких як буксовий вузол, необхідно виконувати вдосконалення технологічної готовності окремих підрозділів залізниць при технічному обслуговуванні та ремонті впровадженням у вагонних депо сучасних технологічних процесів із застосуванням методів і засобів діагностування буксового вузла вантажних вагонів.

Відповідно до ГОСТ 20911-89 під технічним діагностуванням розуміється визначення технічного стану окремого об'єкта. Завдання при технічному діагностуванні полягають у контролі технічного стану об'єкта, знаходження слабкого місця з визначенням причин відмов чи несправностей, а також з наступним прогнозуванням технічного стану.

На сьогодні [4-11, 15-20] існує безліч застосовуваних засобів для виконання технічного діагностування, що мають різницю за типом засобів вимірювання, за використовуваним методом обробки отриманих даних і правилом рішення діагностичної задачі.

При всіх видах ремонту колісних пар їх елементи і деталі буксових вузлів піддають неруйнівному контролю (НК) згідно з чинними нормативними документами з НК. Методи неруйнівного контролю деталей буксових вузлів вантажних вагонів приведені в таблиці. 1.13.

Таблиця 1.13 – Методи неруйнівного контролю деталей буксових вузлів вантажних вагонів

Найменування деталі	Метод	Зони контролю
Кільця внутрішні підшипників, напресовані на шийку осі (без демонтажу з осі)	Магнітопорошковий контроль чи вихрострумний контроль	Робоча зовнішня циліндрична поверхня
Кільця внутрішні підшипників вільні	Магнітопорошковий контроль чи вихрострумний контроль	Робоча зовнішня і внутрішня циліндричні поверхні
Кільця зовнішні підшипників вільні	Магнітопорошковий контроль чи вихрострумний контроль	Робоча зовнішня і внутрішня циліндричні поверхні
Кільце плоске упорне підшипників вільне	Магнітопорошковий контроль чи вихрострумний контроль	Робоча зовнішня і внутрішня поверхні
Ролики підшипників	Вихрострумний контроль	Циліндрична поверхня

У даний час для визначення технічного стану ходових вузлів вантажних вагонів найбільшого поширення набула віброакустична діагностика [181, 182, 183, 180, 184]. Під час віброакустичної діагностики перевіряється якість букси в зборі як правило перед деповським ремонтом для встановлення доцільності розбирання букси, тобто для проведення повної ревізії.

Призначенням віброакустичної діагностики є оцінка ступеня відхилення технічного стану ходових вузлів вантажних вагонів від норми за непрямыми ознаками, а саме, за зміною властивостей віброакустичних

процесів в ходових вузлах, що залежать від характеру взаємодії їх вузлів і деталей.

Віброакустична діагностика полягає у визначенні внутрішнього стану ходових вузлів різних машин за їх віброакустичними характеристиками, що являє собою розділ динаміки машин, який пов'язаний з вивченням власних корпусних вібрацій і шумів, який називається акустичною динамікою машин [181, 182, 183, 180, 184].

Вібрація ходових вузлів різних машин, що виникає під час експлуатації, завше обумовлена допущеними похибками проектування, технологією виготовлення, виконання ремонту і збирання, а також наявною дискретністю структур окремих елементів та складових ходових вузлів різних машин, у тому числі і вантажних вагонів [181, 182, 183, 185, 186].

Застосування віброакустичної діагностики в якості методу визначення технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів вимагає проведення попередніх досліджень законів розподілу випадкових величин, що характеризують зміну їх технічного стану, класифікації несправностей, розробки діагностичних ознак, що визначають технічний стан ходових вузлів вантажних вагонів [185, 186]. Вирішення таких завдань може забезпечити підвищення експлуатаційної надійності буксових вузлів вантажних вагонів та безпеку руху залізничного транспорту.

Для діагностики буксових вузлів вантажних вагонів під час технічного обслуговування та ремонту пропонується використовувати вібродіагностичний метод, який заснований на аналізі сигналів вібрації, що реєструються п'єзоелектричними вібровимірювальними перетворювачами (датчиками вібрації). Для контролю технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів може бути використаний загальний рівень (середньоквадратичне значення) віброприскорення, віброшвидкості і вібропереміщення, а для визначення конкретних несправностей повинен застосовуватися спектральний аналіз дотичної віброприскорення [181, 182, 183, 185, 186].

Вимірювання вібрації є складним фізичним експериментом навіть при роботі в лабораторних умовах. Проведення вимірювань на випробувальних стендах і дослідження різних потужних агрегатів в експлуатаційних умовах вносить додаткові і часто значні ускладнення. Тому вимір вібрації вимагає хорошої попередньої підготовки [182, 183, 180, 185, 186].

Визначення нормативних показників проводиться на підставі статистичного методу, що враховує ймовірні процеси зміни технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів. Таким чином, статистичне визначення діагностичних параметрів для буксових вузлів вантажних вагонів становить одну з основ діагностування.

Реакції механічних систем на збудження механічними коливаннями визначаються складними фізичними процесами і, навіть при вимірі на одному елементі буксового вузла вантажних вагонів в близьких один до одного точках, може спостерігатися різний характер досліджуваних коливань. Отже, є важливим проводити виміри вібрації буксових вузлів вантажних вагонів в одних і тих же місцях, які називаються контрольними точками вимірювання вібрації [181, 182, 183, 180, 184].

Процес діагностування буксових вузлів здійснюється безпосередньо на колісній парі або під вантажним вагоном шляхом вивішування колісної пари на домкратах. Датчики вібрації повинні встановлюватися на буксових вузлах вантажних вагонів відповідно до встановлених вимірювальних точок [181, 182, 183, 180, 184].

Для забезпечення достовірного діагностування буксових вузлів вантажних вагонів необхідно, щоб статичне навантаження на буксовий вузол діяло на ті зони поверхонь кочення, на яких можуть утворюватися експлуатаційні дефекти. При вивішуванні колісної пари на домкратах навантаження на поверхні буксових вузлів вантажних вагонів змінює напрямок, через що в вимірюваному сигналі вібрації можуть бути відсутні ознаки дефектів зовнішнього кільця буксового вузла. Для недопущення такої ситуації, необхідно щоб частота обертання колісної пари була досить

великою, щоб відцентрові сили, що діють на буксовий вузол, істотно перевищували силу їх тяжіння і виконували функції статичного навантаження. У той же час частота обертання колісної пари не повинна бути занадто високою, щоб відцентрові сили, що діють на неврівноважену колісну пару, були істотно нижче її сили тяжіння. Тоді при обертанні колісної пари у зазорі буксового вузла не будуть з'являтися додаткові ударні навантаження, які спотворюють вібродіагностичні ознаки ряду дефектів. Як показують результати практичної діагностики буксових підшипників на подібних стендах, оптимальна для діагностики швидкість обертання колісної пари вантажних вагонів не перевищує 300 об/хв [183].

Однією з умов отримання достовірного діагнозу з технічного стану буксового вузла вантажних вагонів є правильний вибір точок і напрямків контролю вібрації. При цьому слід дотримуватися таких основних правил [183]:

- точка контролю вібрації буксових вузлів вантажних вагонів повинна бути якомога ближче до місця дії статичного навантаження на підшипник;
- між точкою контролю і місцем формування високочастотних коливальних сил повинен бути мінімум контактних поверхонь і не повинно бути різких змін перетину тих елементів буксового вузла, за якими поширюється високочастотна вібрація;
- вібрація на середніх і низьких частотах повинна вимірюватися переважно в напрямку дії статичного навантаження;
- місце установки датчика на буксовий вузол вантажних вагонів має бути рівним, зачищеним від фарби і бруду.

Але при застосуванні вібродіагностики буксових вузлів вантажних вагонів також виникають різні помилки.

Підвищити достовірність діагностування буксових вузлів вантажних вагонів можливо шляхом зменшення інструментальної, методичної та суб'єктивної похибок. Знизити інструментальну похибку можливо шляхом застосування в системі вібродіагностики вимірювальної апаратури з більш

високими метрологічними характеристиками. Зменшити методичну похибку, можливо застосовуючи більш досконалі алгоритми і технологію діагностування. Для виключення суб'єктивної похибки (людський фактор) необхідно повністю виключити вплив оператора на постановку діагнозу щодо технічного стану буксових вузлів вантажних вагонів.

1.4 Постановка проблеми. Мета роботи і задачі дослідження

В умовах зростання вантажних перевезень на залізничному транспорті залишається відкритим питання оцінки безпеки руху. Існуючі способи оцінки безпеки руху не враховують вплив процесів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів при технічному обслуговуванні та ремонті на можливі ризики відмов в експлуатації. Тому необхідно дослідити вплив діагностики буксових вузлів вантажних вагонів на безпеку руху залізничного транспорту, а також знизити вплив людського фактора на постановку діагнозу щодо технічного стану буксових вузлів.

Тому, у роботі, для зниження ризиків, що настають при відмовах буксових вузлів вантажних вагонів пропонується використання методу діагностування за віброакустичними характеристиками під час технічного обслуговування, ремонту та технічного контролю. Для цього необхідно виконати дослідження впливу застосування методу діагностування за вібраційними характеристиками під час технічного обслуговування, ремонту та технічного контролю на рівень ризиків, що можуть виникнути під час експлуатації.

Метою дисертаційної роботи є зниження ризиків настання відмов буксових вузлів вантажних вагонів при застосуванні методів діагностування.

Для реалізації поставленої мети необхідним є розв'язання наступних завдань:

- дослідити стан досліджуємого питання;

- обрати методи, визначити об'єкт і предмет дослідження, а також зробити оцінку безпеки руху при відмовах буксових вузлів вантажних вагонів;

- розробити математичну модель ризиків на залізничному транспорті при застосуванні діагностики буксових вузлів вантажних вагонів;

- провести експериментальні дослідження ризиків на залізничному транспорті при застосуванні діагностики буксового вузла вантажних вагонів та оцінити техніко-економічну ефективність запропонованих заходів.

2 МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ І ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ, ОЦІНКА БЕЗПЕКИ РУХУ ПРИ ВІДМОВАХ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

2.1 Методи, об'єкт і предмет дослідження

Оскільки існує значний обсяг застосовуваних методів для оцінки безпеки руху, коротко опишемо основні. У роботах [1-3] наведені методики аналізу дерева відмов для оцінки безпеки руху. Такі методики використовуються для підвищення ефективності технічного обслуговування залізничного транспорту і зниження ризиків. Кілька методів в роботах [4-6] представляють поліпшені методики аналізу дерева відмов для прийняття рішень. У роботах [7], [8], [9], [10] наведені моделі ризику для оцінки безпеки руху. Роботи [7, 8] засновані на сценаріях аварій з урахуванням людського фактора. У роботах [11, 12] безпека руху пов'язана з процесами системи технічного обслуговування елементів транспортної системи. У [13, 14] приведена система ідентифікації ризиків на залізничному транспорті. У роботах [15, 16] для оцінки безпеки використовують ймовірність відмов рейок. У роботі [17] застосований метод експлуатаційної надійності для оцінки безпеки руху. У роботі [18] розглядаються системи електропостачання залізниці як критичні для безпеки транспортної системи. Аналіз ризиків [19] дав можливість використовувати стохастичні методи оцінки безпеки руху. У роботі [20] представлені методи оцінки ризиків і можливості підвищення безпеки руху при проектуванні, експлуатації та технічному обслуговуванні засобів транспорту залізниць. Особливу увагу приділено конструкцій вантажних вагонів і їх впливу на безпеку руху. У роботах [13, 21] безпека руху описана за допомогою матриць ризиків.

При технічному обслуговуванні і ремонті вантажних вагонів, основний метод, який враховує надійність роботи людини, може бути заданий побудовою дерева ймовірностей (або результатів). Використання такого

методу передбачає деяку умовну ймовірність, пов'язана з успішним або помилковим виконанням працівником певної технологічної операції технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів, або ймовірність, пов'язана з появою відповідного події. В цьому випадку, результат будь-якої події буде зображуватися гілками або зв'язками дерева ймовірностей. Обчислити повну ймовірність по успішному виконанню певного завдання технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів можна підсумовуванням певних ймовірностей, які будуть відомі для кінцевої точки (в разі успішного результату) на дереві ймовірностей. В такому методі можна врахувати чинники, з деякими уточненнями, наприклад: стрес, який викликаний браком часу; навантаження, яка визначає необхідність прийняття рішень і їх реалізації в різних нестандартних ситуаціях; емоційне навантаження тощо.

Слід зазначити, що застосування даного методу може забезпечити непогану наочність, а математичні обчислення, пов'язані з ним, досить прості, що так само призводить до зниження ймовірності появи помилок, які можуть виникнути при обчисленні.

Крім того, даний метод дозволяє провести оцінку умовної ймовірності виконання робіт технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів, яка може бути отримана тільки на основі рішень складних рівнянь невизначеного характеру.

На основі короткої характеристики методів оцінки безпеки руху приходимо до висновку, що найбільш застосовуваним є метод з використанням ризиків. Тим паче, що і АТ «Українські залізниці» так само мають на меті перейти на систему ризиків для оцінки рівня безпеки руху залізниць.

У дисертаційній роботі при виконанні досліджень ризиків на залізничному транспорті для оцінки безпеки руху будуть використані математико-статистичні методи, методи аналізу та синтезу, теорія ймовірностей.

При застосуванні діагностування буксових вузлів вантажних вагонів для зниження ризиків на залізничному транспорті буде використана теорія інформації, логіки, теорії надійності та математичного моделювання технічних процесів.

Об'єктом дослідження є процес виникнення ризиків на залізничному транспорті при відмовах буксових вузлів.

Предметом дослідження є методи діагностування буксових вузлів вантажних вагонів, їх зв'язок і вплив на зміну ризиків на залізничному транспорті.

2.2 Опис ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів

Ризики відмов буксових вузлів вантажних вагонів вказують на можливість виникнення проблем (відмов) та надзвичайних ситуацій у роботі цих вузлів. Ці ризики можуть бути викликані різними факторами, такими як інтенсивна експлуатація, неякісний ремонт, знос матеріалів та вплив зовнішніх чинників, тощо. Вони можуть призвести до непланових зупинок, аварій, а також збитків та небезпеки для безпеки руху на залізничному транспорті. Такі ризики підкреслюють важливість систем діагностики, обслуговування та ефективного управління для попередження відмов та забезпечення безпеки та надійності вантажних вагонів.

Ризики відмов буксових вузлів вантажних вагонів є значущими в контексті безпеки та ефективності залізничного транспорту. Ризики - це можливі негативні події чи ситуації, які можуть виникнути та призвести до небажаних наслідків або втрат. В контексті вантажних вагонів ризики відмов буксових вузлів вказують на ймовірність технічних проблем або неполадок у їхній роботі, що може призвестчати до збитків, аварій, або інших негативних наслідків для ефективності та безпеки залізничного транспорту.

Основні чинники, які спричиняють відмови буксових вузлів, включають:

- Несправності внаслідок експлуатації: Інтенсивна експлуатація, неправильне завантаження вагонів, агресивне середовище шляху та інші експлуатаційні фактори можуть спричинити виникнення ризиків відмов буксових вузлів.
- Неякісний ремонт та технічне обслуговування: Проведення ремонту і обслуговування без дотримання вимог до якості може призвести до дефектів і, відповідно, до відмов буксових вузлів.
- Знос та старіння матеріалів: Вагони, особливо старі, піддаються природному зносу та старінню матеріалів, що може впливати на надійність буксових вузлів.
- Низькоефективна діагностика: Відсутність або недостатня ефективність систем діагностики перед ремонтом та обслуговуванням може призвести до невиявлення потенційних проблем.
- Вплив зовнішніх факторів: Атмосферні умови, температурні зміни, агресивні середовища можуть впливати на стан буксових вузлів та сприяти їх відмовам.
- Пошкодження внаслідок аварій: Транспортні події, аварії та непередбачені обставини можуть призвести до серйозного пошкодження буксових вузлів та підвищити ризик відмов.
- Людський фактор: Неналежна підготовка та дії персоналу під час технічного обслуговування та ремонту можуть призводити до помилок, що впливають на стан буксових вузлів.

Позначимо виконання завдання працівником з технічного обслуговування і ремонту буксових вузлів вантажних вагонів як x , а усіх інших елементів як y . Відомо, що працівник може виконати завдання правильно, або ж – неправильно. Тобто, виконувані ними завдання неправильно – це будуть помилки, що з’являються в певній технологічній ситуації.

Запишемо формулу вихідної комплексної ймовірності:

$$P_s = P_x(1 - P_h)P_y, \quad (2.1)$$

Виконання завдання працівником з технічного обслуговування і ремонту буксових вузлів вантажних вагонів позначимо – x , а усіх інших елементів як y .

P_x – ймовірність успішного виконання поставленого завдання з технічного обслуговування і ремонту буксових вузлів вантажних вагонів;

P_h – ймовірність допущеної помилки в результаті дії людського фактора;

P_y – ймовірність успішного виконання поставленого завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів.

Формулу ймовірності невиконання поставленого завдання з технічного обслуговування і ремонту буксових вузлів вантажних вагонів, яка буде відповідати ризикам відмов, запишемо в наступному вигляді:

$$R = P_F = 1 - P_x(1 - P_h)P_y. \quad (2.2)$$

З наведених формул (2.1), (2.2) можна зробити висновок про єдиний спосіб успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів, що полягає в успішному виконанні завдань x, y і зниженні дії людського фактора.

Ймовірність успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів була позначена через P_y , але доповнимо її залежністю від часу як $P(t)$. Остатній показник має такі властивості:

- $P(t) = 1$ – успішне виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів;
- $P(t)$ – незростаюча функція часу;
- $\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = 0$ – невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів.

Оскільки ймовірність успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів $P(t)$ і ймовірність невиконання є взаємно протилежні події, то оцінку вірогідності невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів можна визначити за залежністю [18]:

$$F(t) = 1 - P(t). \quad (2.3)$$

При цьому для функції $F(t)$ справедливі такі співвідношення:

$$0 \leq F(t) \leq 1; \quad F(0) = 0; \quad F(\infty) = 1. \quad (2.4)$$

Ймовірність невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів $F(t)$ – це ймовірність того, що в межах заданого проміжку часу не виконається завдання.

Наочно продемонструвати взаємозалежності ймовірностей виконання і невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів можна за допомогою рисунка 2.1.

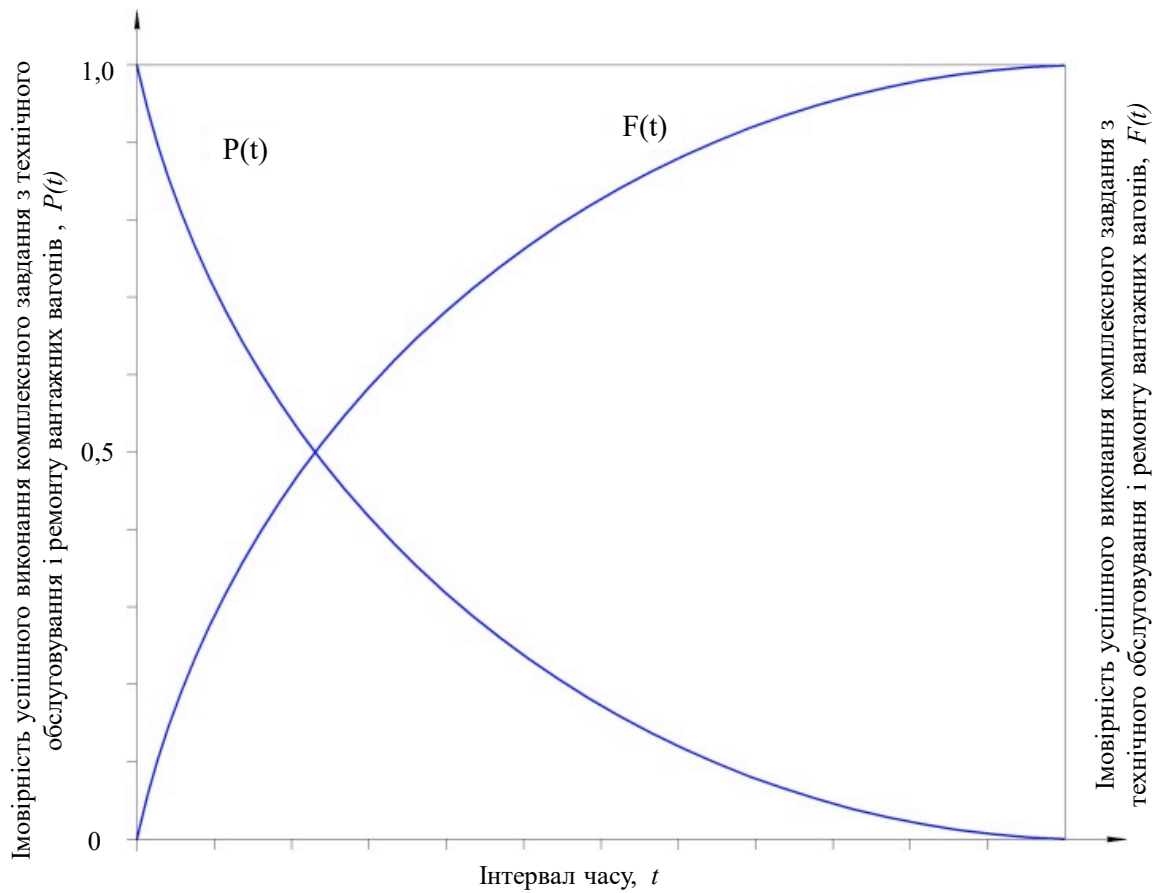


Рисунок 2.1. Взаємозалежності ймовірностей виконання і невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів [побудовано автором]

Ймовірність невиконання комплексної завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів $F(t)$ характеризує ймовірність того, що випадковий інтервал часу виконання T менше заданого інтервалу часу t ($t \geq T$). Під T необхідно розуміти безперервну випадкову величину, для якої існує щільність розподілу часу успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів:

$$f(t) = q(t) = \frac{d}{dt} Q(t), \quad (2.5)$$

де $Q(t)$ – функція розподілу часу невиконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів, яка збігається з функцією $F(t)$:

$$Q(t) = F(t) = \int_0^t q(t) dt . \quad (2.6)$$

Визначення статистичної ймовірнісної оцінки успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів $\bar{P}(t)$ здійснюється за допомогою формули [7, 18]:

$$\bar{P}(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} , \quad (2.7)$$

де N_0 – кількість успішно-виконаних комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів;

$n(t)$ – кількість невиконаних комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів в інтервал часу t .

Визначення статистичної ймовірнісної оцінки невиконання комплексної завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів $\bar{F}(t)$ виконують на основі формули [5, 24, 33]:

$$\bar{F}(t) = 1 - \bar{P}(t) = \frac{n(t)}{N_0} . \quad (2.8)$$

Графічна залежність розподілу функції $f(t)$ наведена на рисунку 2.2.

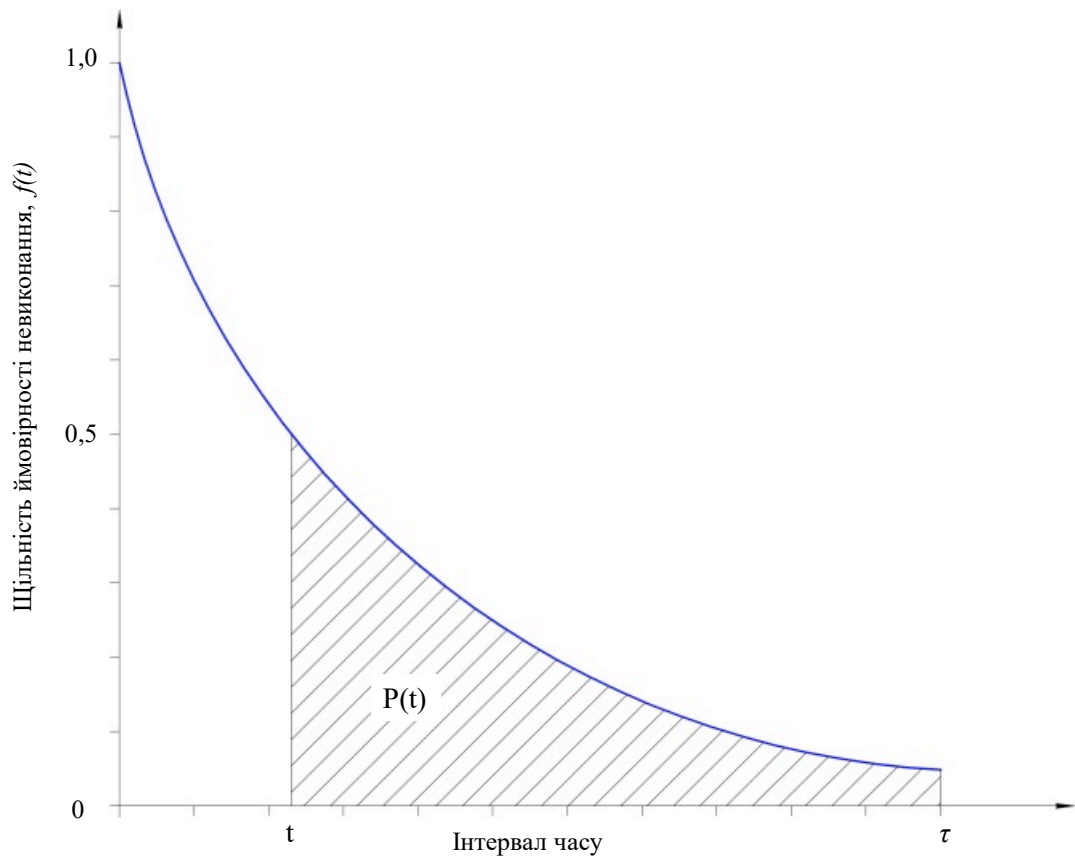


Рисунок 2.2. Графічна залежність розподілу функції $f(t)$ при першому невиконанні комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів [побудовано автором]

Статистично визначити щільність ймовірності $\bar{f}(t)$ можна за допомогою формули [7, 18]:

$$\bar{f}(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (2.9)$$

де $n(\Delta t)$ – кількість невиконаних комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів в інтервал часу Δt .

Тоді можна записати:

- для ймовірності невиконання комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів:

$$F(t) = Q(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau ; \quad (2.10)$$

- для ймовірності виконання комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів:

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau . \quad (2.11)$$

Середній час відхилення виконаних комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів T_{cp} – математичне очікування виконання комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = -t \cdot P(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt , \quad (2.12)$$

де t – час виконання комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів.

Статистичну оцінку середнього часу відхилення виконаних комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів можна виконати за допомогою формули:

$$\bar{T}_{cp} = \frac{1}{N_0} \cdot \sum_{i=1}^{N_0} t_i , \quad (2.13)$$

де t_i – час виконаних комплексних завдань по i -м технічним обслуговуванням і ремонтам вантажних вагонів.

Основний час успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів – це відношення інтервалу часу успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів до математичного сподівання кількості невиконаних комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів в певний інтервал часу:

$$T_0 = \frac{t}{M[n(t)]}, \quad (2.14)$$

де $M[n(t)]$ – математичне очікування кількості невиконаних комплексних завдань з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів в певний інтервал часу t .

Статистичну оцінку основного часу успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів виконують на основі формули:

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_{cpi}, \quad (2.15)$$

де t_{cpi} – час успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів;

n – кількість технічних обслуговувань і ремонтів вантажних вагонів.

Інтенсивність успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів – умовна щільність ймовірності успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів, яка визначається для даного моменту часу за умови, що до цього моменту все виконано вчасно:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{\frac{d}{dt} F(t)}{P(t)} = \frac{\frac{d}{dt} (1 - P(t))}{P(t)} = -\frac{\frac{dP(t)}{dt}}{P(t)} . \quad (2.16)$$

Інтенсивність успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів показує, яка частина вагонів не пройшла успішне виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту в інтервалі часу по відношенню до середнього числа вантажних вагонів.

Результати проведених статистичних досліджень на Придніпровській залізниці дозволяють побудувати статистичний розподіл для величин успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на Придніпровській залізниці протягом періоду, що дорівнює 90 діб.

Отримані статистичні дані успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на Придніпровській залізниці і результати їх емпіричного розподілу наведені в таблиці. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати емпіричного розподілу статистичних даних успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на Придніпровській залізниці

№ п/п	Розряди, $N_i - N_{i+1}$ (п)	Середні значення, \underline{N}_i (п)	Кількість спостережень, h_i	Емпірична ймовірність, p_i^*	$\underline{N}_i \times p_i^*$	$\underline{N}_i^2 \times p_i^*$
1	20-21	20,5	5	0,04902	1,004902	20,60049
2	21-22	21,5	10	0,098039	2,107843	45,31863
3	22-23	22,5	11	0,107843	2,426471	54,59559
4	23-24	23,5	23	0,22549	5,29902	124,527
5	24-25	24,5	22	0,215686	5,284314	129,4657

6	25-26	25,5	12	0,117647	3,00000	76,5
7	26-27	26,5	14	0,137255	3,637255	96,38725
8	27-28	27,5	5	0,04902	1,348039	37,07108
Всього	-	-	102	1,00000	24,1078	584,466

Для проведення розрахунку вибіркового середнього $M^*[N]$ була використана наступна формула:

$$M^*[N] = \sum_{i=1}^k \bar{N}_i \times p_i^*, \quad (2.17)$$

де \bar{N}_i – випадкова величина в i -му інтервалі;

p_i^* – значення емпіричної ймовірності (частоти) випадкової величини по відношенню до \bar{N}_i :

$$p_i^* = \frac{h_i}{\sum_{i=1}^k h_i}, \quad (2.18)$$

де h_i – кількість спостережень випадкової величини \bar{N}_i в розряді;

$\sum_{i=1}^k h_i$ – сумарне число спостережень;

i – порядковий номер розряду ($i = 1, 2, \dots, k$).

Для даних емпіричних рядів величина успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на Придніпровській залізниці $M^*[N]$ рівна 24,1078 вагонів (таблиця. 2.1).

Вибіркову дисперсію $D^*[N]$ визначали за формулою:

$$D^*[N] = \sum_{i=1}^k \bar{N}_i^2 \times p_i^* - (M^*[N])^2. \quad (2.19)$$

Для даних емпіричних рядів величина успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на Придніпровській залізниці $D^* [N]$ рівна 3,28 вагонів.

Значення середньоквадратичного відхилення σ_N^* розраховували за формулою:

$$\sigma_N^* = \sqrt{D^* [N]}. \quad (2.20)$$

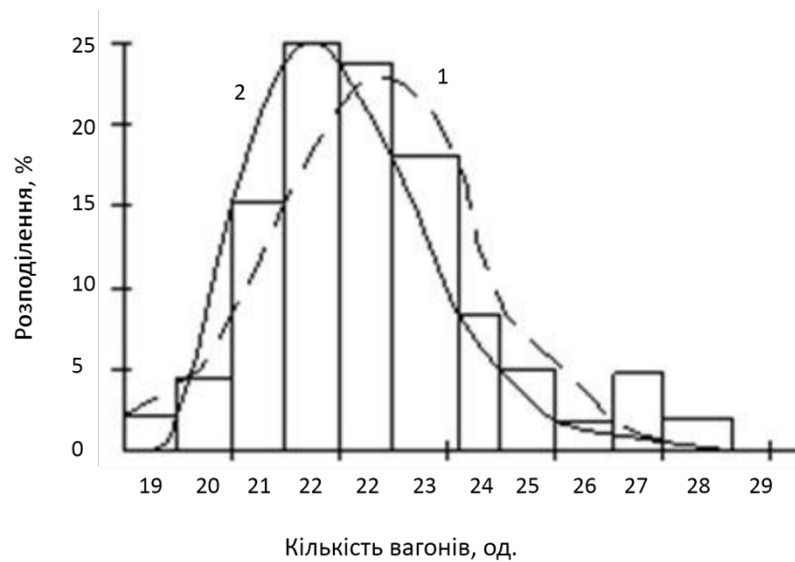
Для даних емпіричних рядів величина успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на Придніпровській залізниці σ_N^* рівна 1,81 вагонів.

Оцінку коефіцієнта варіації $\vartheta(N)$ виконували за формулою:

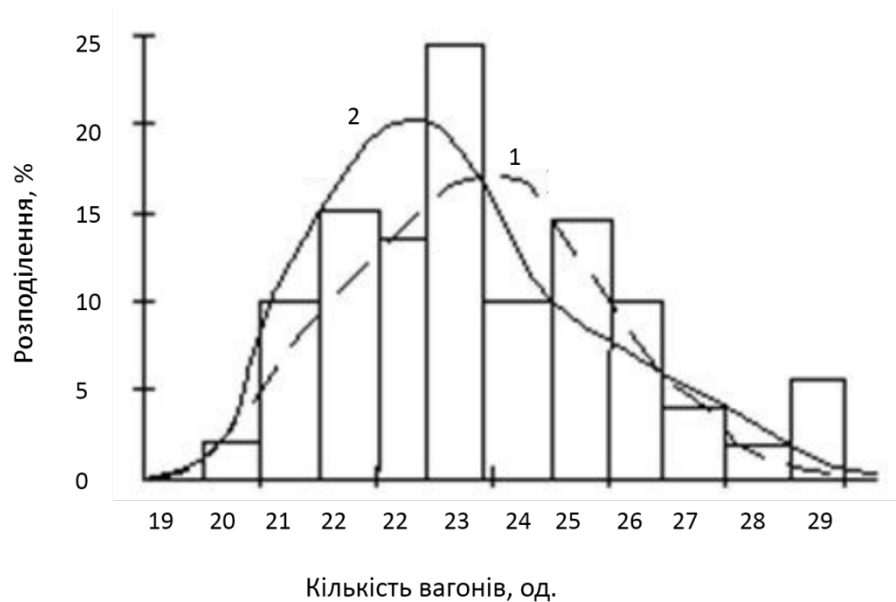
$$\vartheta(N) = \frac{\sigma_N^*}{M [N]^*}. \quad (2.21)$$

Для даних емпіричних рядів величина успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на Придніпровській залізниці $\vartheta(N)$ рівна 0,075 вагонів.

Розподіл успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на Придніпровській залізниці наведено на рисунку 2.3.



а



б

Рисунок 2.3. Розподіл успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів на Придніпровській залізниці для поїздів: а – непарних; б – парних; 1 – нормальний закон розподілу; 2 – логарифмічно-нормальний закон [побудовано автором]

Для опису ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів, на основі вище приведеного, будемо вважати, що розподілення успішного виконання комплексного завдання є нормальним. Для зменшення кількості відмов буксових вузлів вантажних вагонів з причин проведення неякісного ремонту

і технічного обслуговування, може бути застосовані методи і засоби діагностики. Тому у роботі для діагностики буксових вузлів вантажних вагонів пропонується використовувати їх вібраційні характеристики. Причому для виключення дії людського фактора пропонується повністю виключити вплив оператора на висновки діагностичного процесу. У зв'язку з цим, ризик відмов буксових вузлів вантажних вагонів (вираз (2.2)) з урахуванням застосування вібраційної діагностики ($P_h = 0$) буде розраховуватися за формулою:

$$R = 1 - P_x P_y. \quad (2.21)$$

Ризики відмов буксових вузлів вантажних вагонів вимірюються у відносних одиницях, оскільки це є імовірність виникнення події, або у відсотках.

Також ризики можуть бути оцінені як добуток імовірності на збиток (у гривнях, тощо).

На основі формул (2.2), (2.21) побудуємо залежності ризиків від ймовірності виконання поставленого завдання з технічного обслуговування і ремонту буксових вузлів вантажних вагонів (рисунок 2.4).

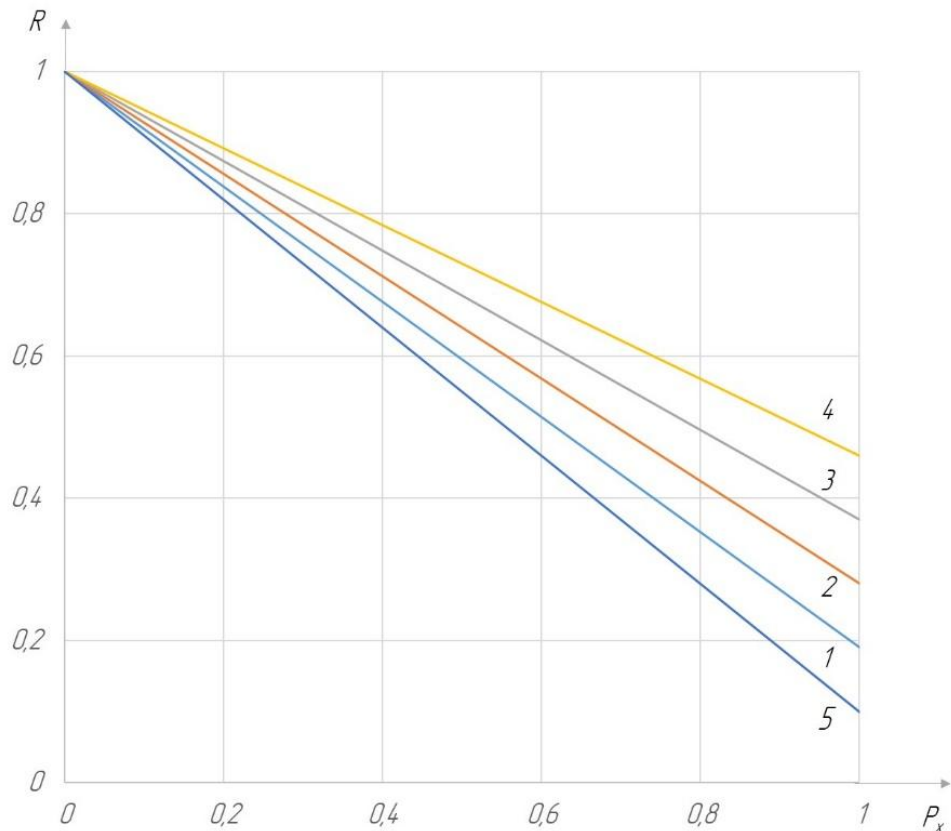


Рисунок 2.4. Залежності ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів від ймовірності виконання поставленого завдання з технічного обслуговування і ремонту: 1 – $P_h = 0,1$; 2 – $P_h = 0,2$; 3 – $P_h = 0,3$; 4 – $P_h = 0,4$; 5 – $P_h = 0$ [побудовано автором]

З огляду на приведені залежності ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів, можемо стверджувати, що застосування вібраційної діагностики під час технічного обслуговування і ремонту може дозволити знизити величину ризиків у 2...4,5 рази при успішному виконанні поставленого завдання.

Виходячи з рівня збитків при відмовах буксових вузлів вантажних вагонів за 2018-2019 рр., середній рівень збитків становить 5,63 тис. грн. на одну відмову. Тож приведемо на рисунку 2.5 залежності ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів (у гривнях) від ймовірності виконання поставленого завдання з технічного обслуговування і ремонту.

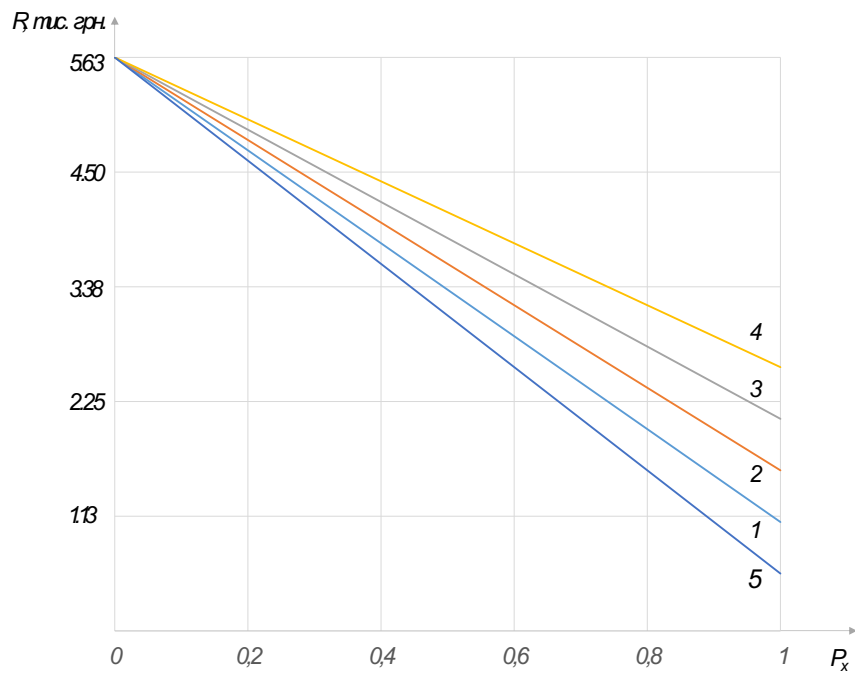


Рисунок 2.5. Залежності ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів (у гривнях) від ймовірності виконання поставленого завдання з технічного обслуговування і ремонту (позначення ті самі, що і на рисунку 2.4)

2.4 Висновки до розділу 2

У результаті виконаного дослідження обрано методи, визначено об'єкт та предмет, а також розроблено математичну модель для оцінки безпеки руху за ризиками, що можуть виникати при відмовах в експлуатації буксових вузлів вантажних вагонів після їх технічного обслуговування і ремонту. Для зменшення кількості відмов буксових вузлів вантажних вагонів з причин проведення неякісного ремонту і технічного обслуговування, можуть бути застосовані методи і засоби діагностики.

Теоретично встановлено, що застосування вібраційної діагностики під час технічного обслуговування і ремонту може дозволити знизити величину ризиків у 2...4,5 рази при успішному виконанні поставленого завдання.

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РИЗИКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДІАГНОСТИКИ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

3.1 Математична модель ризиків на залізничному транспорті при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів

Використовуючи наведений параметр у виразах (2.2), (2.21) P_x – ймовірність успішного виконання поставленого завдання з технічного обслуговування і ремонту буксових вузлів вантажних вагонів, за яким можна надати оцінку якості їх виконання, можна записати залежність для зазначеного параметру ймовірності в загальному вигляді:

$$P_x = \sum_{i=1}^n P_{xi}(1 - P_{hi}) / n, \quad (3.1)$$

де P_{xi} – ймовірність виконання відповідної i -ої операції з технічного обслуговування і ремонту буксового вузла вантажних вагонів;

P_{hi} – ймовірність допущеної помилки при виконанні відповідної i -ої операції з технічного обслуговування і ремонту буксового вузла вантажних вагонів;

n – кількість операцій з технічного обслуговування і ремонту буксового вузла вантажних вагонів.

Якщо поставлене завдання з технічного обслуговування і ремонту буксового вузла вантажних вагонів виконане без допущення помилок обслуговуючим персоналом, то вираз (3.1) матиме значення:

$$P_x = 1.$$

При здійсненні технічного контролю виконання технічного обслуговування і ремонту буксового вузла вантажних вагонів, як відбувається у вагонних депо, ризик відмови буксового вузла на даному етапі R_x дорівнює величині:

$$R_x = 1 - P_x = 0.$$

Але у загальному вигляді ризик відмови буксового вузла вантажних вагонів при здійсненні технічного контролю виконання технічного обслуговування і ремонту повинен визначатися за наступним виразом:

$$R_x = (1 - P_x)P_{hk}, \quad (3.2)$$

де P_{hk} – ймовірність допущеної помилки при виконанні технічного контролю при прийнятті буксового вузла вантажних вагонів з ремонту.

Використовуючи дані, що наведені в першому розділі, розрахуємо ризик відмови буксових вузлів вантажних вагонів, які призвели до транспортних подій, за виразом:

$$R_{хтп} = \frac{K_{тк}}{\sum K_i}, \quad (3.3)$$

де $K_{тк}$ – кількість відмов буксових вузлів вантажних вагонів під час експлуатації, які призвели до транспортних подій;

$\sum K_i$ – сума всіх відмов вантажних вагонів під час експлуатації, які призвели до транспортних подій.

На основі виразу (3.3) маємо наступне значення ризику відмов буксових вузлів вантажних вагонів під час експлуатації, які призвели до транспортних подій:

$$R_{x_{\text{тп}}} = \frac{37}{105} = 0,352.$$

Виходить, що на інші системи та вузли вантажного вагона припадає ризик, рівний:

$$R_{x_{\text{тп}}}^{\text{ін}} = 1 - 0,352 = 0,648,$$

тобто ризик відмов буксових вузлів вантажних вагонів під час експлуатації складає третю частину від усіх інших разом взятих ризиків.

Також використовуючи дані, що наведені в першому розділі, розрахуємо ризик відмови буксових вузлів вантажних вагонів при здійсненні технічного контролю виконання ремонту, які виявлені приладами контролю колісних пар, за виразом:

$$R_{x_{\text{тк}}} = \left(\sum_{i=1}^n K_{i_{\text{пк}}} - K_{\text{е}} \right) / \sum_{i=1}^n K_{i_{\text{пк}}}, \quad (3.4)$$

де $K_{\text{е}}$ – кількість відмов буксових вузлів вантажних вагонів з причин недотримання вимог експлуатації або фізичного зносу, які виявлені приладами контролю колісних пар;

$K_{i_{\text{пк}}}$ – i -та відмова буксових вузлів вантажних вагонів під час експлуатації, які виявлені приладами контролю колісних пар.

Кількість відчеплень вантажних вагонів через несправності роликових букс на залізницях України, які виявлені приладами контролю колісних пар у 2017-2018 рр. наведена в таблиці. 3.1.

Таблиця 3.1 – Кількість відчеплень вантажних вагонів через несправності роликових букс на залізницях України, які виявлені приладами контролю колісних пар у 2017-2018 рр.

№ п/п	Найменування несправності	Укрзалізниця	
		2018	2017
1	Знос сепаратору	1	0
2	Руйнування сепаратору	6	6
3	Руйнування підшипника	3	1
4	Проворот внутрішнього кільця	40	52
5	Тріщини, відколи, розриви внутрішнього, зовнішнього кільця	8	8
6	Раковини на поверхні кочення кілець, роликів	14	45
7	Послаблення торцевого кріплення шайбою	32	37
8	Послаблення, руйнування кріплення гайкою М110	80	133
9	Злом стопорної планки (болтів М12)	6	7
10	Надири на торцях роликів, кільцях типу "ялинка"	183	151
11	Злом, тріщини упорного кільця	15	18
12	Невідповідність радіальних (осьових) зазорів	74	96
13	Недостатня кількість мастила	4	17
14	Мастила більше норми	2	5
15	Наявність води в мастилі (неякісне)	125	174
16	Неякісне ущільнення роликової букси	0	0
17	Електроопік	2	3
18	Несправності лабіринтного кільця	6	4
19	Задири лабіринтної частини букси	16	21
20	Інші (відсутність болта огляд. кришки, розворот букси, деформ оглядової кришки)	156	164
21	Несправності візків та корпусів букс	90	114
22	Несправність колісних пар	58	103
23	Причину не виявлено	175	260
24	Пошкодження на під'їзних коліях	31	27
25	Втручання сторонніх осіб	37	63
	ВСЬОГО	1164	1509

Відповідно до наявних даних за відмовами буксових вузлів вантажних вагонів під час експлуатації, які виявлені приладами контролю колісних пар, маємо наступне значення ризику:

$$R_{\text{хтк}} = \frac{1164 - 316}{1164} = 0,728.$$

Отримали високе значення ризику відмов буксових вузлів вантажних вагонів під час експлуатації, що припадає на вину персоналу при виконанні технічного контролю та проведенні технічного обслуговування чи ремонту. Залишок ризику обумовлений причинами недотримання вимог експлуатації або фізичного зносу і складає відповідно 0,272.

Якби не відбулося виявлення несправностей буксових вузлів вантажних вагонів під час експлуатації приладами контролю колісних пар, то можна стверджувати, що вони б призвели до відмов, які перейшли у категорію транспортних подій. Це доводить той факт, що застосування технічних засобів і приладів, а також відсутність впливу людського чинника дозволяє знизити ризики відмов буксових вузлів вантажних вагонів під час їх експлуатації.

Для того щоб знизити значущість впливу людського чинника, як під час проведення технічного обслуговування та ремонту, так і під час виконання технічного контролю необхідним є застосування методу та обладнання для діагностики буксових вузлів вантажних вагонів за вібраційними характеристиками. Це дозволить знизити рівень ризику відмов буксових вузлів під час експлуатації вантажних вагонів.

На практиці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів існує деяка безперервна статична модель залежності рівня індивідуального підходу обслуговуючого персоналу (x) від рівня загальних інтересів (бригада, зміна, залізниця) (y). Як правило, існує три види залежностей: оптимістична, нейтральна, песимістична.

Аналітично ці залежності мають вигляд [4, 31]:

- оптимістична – $x = 1 - y^2$;
- нейтральна – $x = 1 - y$;
- песимістична – $x = (y - 1)^2$.

Графічно, дані залежності при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів, мають такий вигляд (рисунок 3.1).

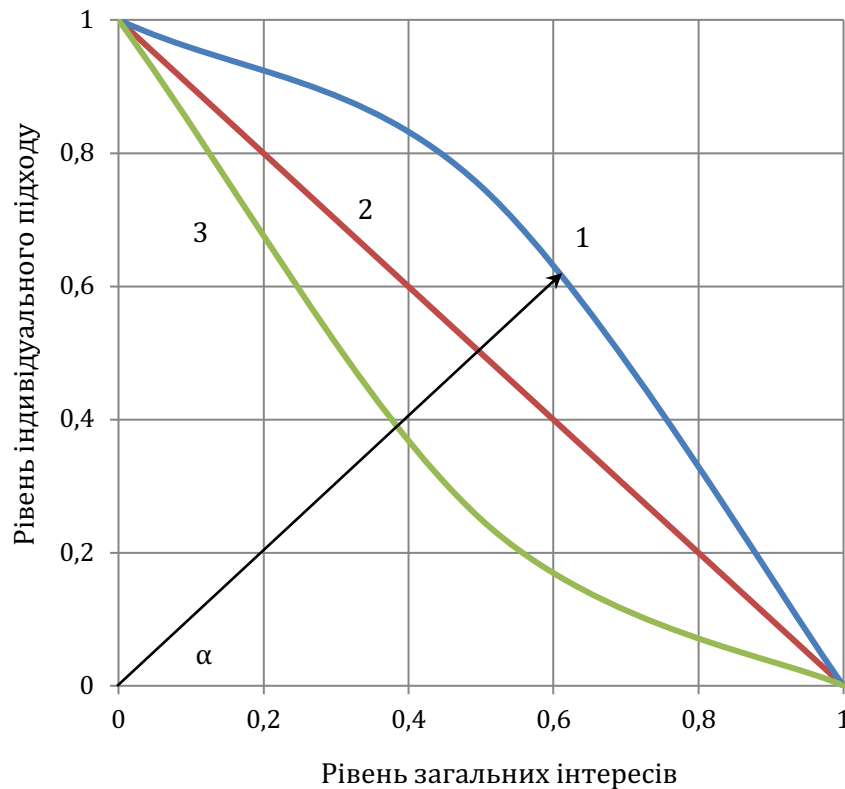


Рисунок 3.1. Графічні залежності рівня індивідуального підходу при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів від рівня загальних інтересів: 1 – оптимістична; 2 – нейтральна; 3 – песимістична

Індивідуальний підхід це зацікавленість конкретної особи у виконанні якогось завдання. Це може проявлятися в тому, що працівник хоче отримати якесь заохочення і, тим самим, виконує краще і якісніше поставлене завдання.

Загальні інтереси це інтереси, які проявляються на рівні тих, хто ставить завдання (керівники, менеджери, вищий адміністративний персонал) і передбачає успіх їх виконання. Загальні інтереси призначені для всього колективу працівників, які «спущені» зверху.

В якості інтегрального критерію визначення стратегічно оптимального співвідношення рівнів досягнення індивідуального підходу і загальних інтересів при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового

вузла вантажних вагонів, можуть бути обрані два види критеріїв: мультиплікативний і евклідовий [60]:

$$Y_1 = xy; \quad Y_2 = x^2 + y^2, \quad (3.5)$$

які для трьох видів залежностей мають вигляд:

- оптимістичний: $Y_1 = (1 - y^2)y$, $Y_2 = (1 - y^2)^2 + y^2$;

- нейтральний: $Y_1 = (1 - y)y$, $Y_2 = (1 - y)^2 + y^2$;

- песимістичний: $Y_1 = (y - 1)^2y$, $Y_2 = (y - 1)^4 + y^2$.

Стратегічно оптимальне співвідношення рівнів досягнення індивідуальних підходів і загальних інтересів при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів наведені в таблиці. 3.2.

Таблиця 3.2 – Стратегічно оптимальні співвідношення досягнення рівнів індивідуальних підходів і загальних інтересів при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів

Вид стратегічної залежності	Метрика інтегрального критерію	
	мультиплікативна	евклідова
Оптимістичний	0,58	0,7
Нейтральний	0,5	0,5
Песимістичний	0,67	0,4

Таким чином, в залежності від суб'єктивного вибору виду стратегічної залежності між рівнем досягнення індивідуального підходу і рівнем досягнення загального інтересу і видом метрики інтегрального критерію при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів можна оцінити в статичному режимі їх оптимальне співвідношення.

На основі наведених залежностей на рисунок 3.1, які будуть виступати кривими граничних можливостей окремого підрозділу залізниці при

виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів, розглянемо взаємозалежності кількості технічних обслуговувань (x) і кількості ремонтів буксового вузла вантажних вагонів вантажних поїздів (y), виходячи з максимальних можливостей окремого підрозділу X_{max} і Y_{max} відповідно. Дані залежності наведемо на рисунок 3.2.

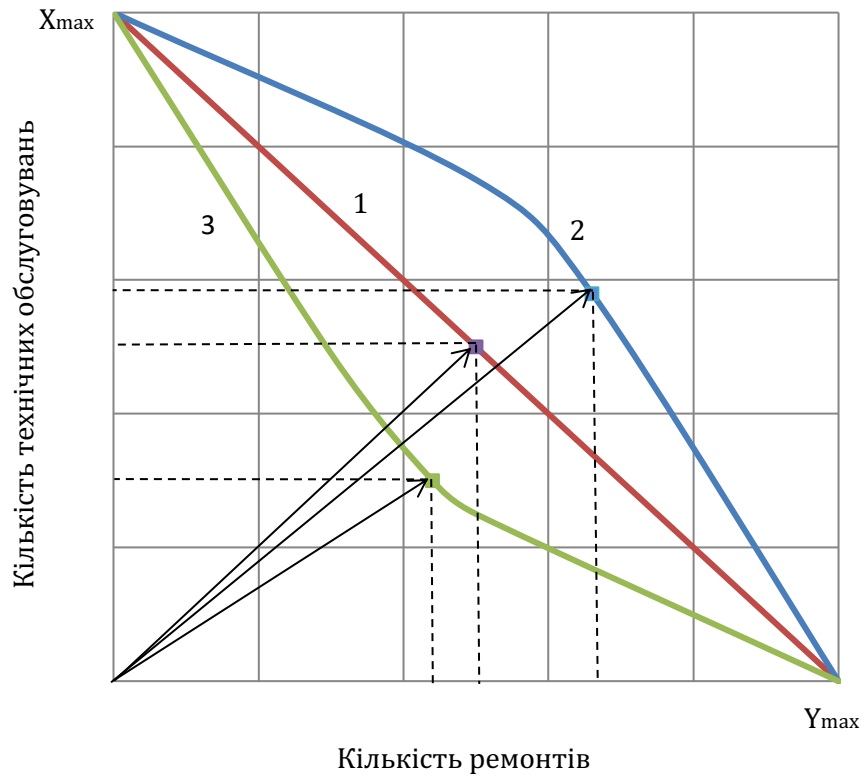


Рисунок 3.2. Криві граничних можливостей окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів: 1 – рівноважна; 2 – домінування технічних обслуговувань; 3 – домінування ремонтів

Для рівноважної залежності при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів запишемо рівняння:

$$y = a + bx. \quad (3.6)$$

При цьому максимальне значення кількості ремонтів буксового вузла вантажних вагонів дорівнюватиме:

$$y_{max} = a,$$

а максимальне значення кількості технічних обслуговувань буксового вузла вантажних вагонів, з огляду на те, що $a = y_{max}$:

$$a + bx_{max} = 0;$$

тоді

$$b = -\frac{y_{max}}{x_{max}}.$$

Вихідна залежність з урахуванням значень коефіцієнтів матиме вигляд:

$$y = y_{max} \left(1 - \frac{x}{x_{max}} \right).$$

Використовуючи мультиплікативний критерій:

$$J = xy \rightarrow \max, \tag{3.7}$$

запишемо для даного випадку критерій:

$$J = xy_{max} \left(1 - \frac{x}{x_{max}} \right) \rightarrow \max_x.$$

Знайдемо екстремуми наведеної функції ($\dot{J} = 0$):

$$y_{max} \left(1 - \frac{x}{x_{max}} \right) - \frac{xy_{max}}{x_{max}} = 0;$$

$$x_{ext} = \frac{x_{max}}{2};$$

$$y_{ext} = \frac{y_{max}}{2}.$$

Далі для випадків, представлених кривими 2 і 3, наведених на рисунок 3.2 запишемо загальне рівняння у вигляді:

$$y = a + bx + cx^2. \quad (3.8)$$

Для залежності при домінуванні технічних обслуговувань буксового вузла вантажних вагонів (крива 2, рисунок 3.2), максимальне значення кількості ремонтів (при $x = 0$) дорівнюватиме:

$$y_{max} = a,$$

а похідна в точці $x = 0$ дорівнює:

$$\dot{y} = b + 2cx|_{x=0} = 0,$$

тоді $b = 0$ для даного випадку.

Запишемо початкове рівняння зі знайденими коефіцієнтами:

$$y_{max} + 0x_{max} + cx_{max}^2 = 0,$$

звідси:

$$c = -\frac{y_{max}}{x_{max}^2}.$$

У результаті матимемо:

$$y = y_{max} \left(1 - \frac{x^2}{x_{max}^2} \right).$$

Запишемо критерій (3.7):

$$J = xy_{max} \left(1 - \frac{x^2}{x_{max}^2} \right) \rightarrow \max_x.$$

Знайдемо екстремуми наведеної функції ($\dot{J} = 0$):

$$y_{max} \left(1 - \frac{x^2}{x_{max}^2} \right) - \frac{2x^2 y_{max}}{x_{max}^2} = 0;$$

$$x_{ext} = \frac{x_{max}}{\sqrt{3}} \approx 0,58x_{max};$$

$$y_{ext} = \frac{2}{3}y_{max} \approx 0,66y_{max}.$$

Для залежності при домінуванні кількості ремонтів буксового вузла вантажних вагонів (крива 3, рисунок 3.2), максимальне значення кількості ремонтів буксового вузла вантажних вагонів (при $x = 0$) дорівнюватиме:

$$y_{max} = a,$$

а похідна в точці $x = 0$:

$$\dot{y} = b + 2cx_{max} = 0,$$

тоді $b = -2cx_{max}$ для розглянутого випадку.

Запишемо початкове рівняння зі знайденими коефіцієнтами:

$$y_{max} + 2cx_{max}^2 + cx_{max}^2 = 0,$$

звідси:

$$c = \frac{y_{max}}{x_{max}^2};$$

$$b = -2 \frac{y_{max}}{x_{max}}.$$

Ще раз запишемо рівняння:

$$y = y_{max} \left(1 - \frac{2x}{x_{max}} + \frac{x^2}{x_{max}^2} \right).$$

Запишемо критерій (3.7):

$$J = xy_{max} \left(1 - \frac{2x}{x_{max}} + \frac{x^2}{x_{max}^2} \right) = xy_{max} \left(1 - \frac{x}{x_{max}} \right)^2 \rightarrow \max_x.$$

Знайдемо екстремуми наведеної функції ($\dot{J} = 0$):

$$y_{max} \left(1 - \frac{x}{x_{max}} \right)^2 - 2y_{max} \left(1 - \frac{x}{x_{max}} \right) \frac{x}{x_{max}} = 0;$$

$$x_{ext} = \frac{x_{max}}{3} \approx 0,33x_{max};$$

$$y_{ext} = \frac{4}{9} y_{max} \approx 0,44 y_{max}.$$

Розглянуті варіанти граничних можливостей окремого підрозділу залізниці при рівноважній залежності, при домінуванні кількості технічних обслуговувань або ремонтів буксового вузла вантажних вагонів дають можливість вибрати техніко-економічні параметри роботи окремого підрозділу залізниці з можливістю вибору моделі для оцінки виконання технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів.

3.2 Підвищення ефективності роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів при обмежених ресурсах

З точки зору ефективності роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів при обмежених ресурсах буде визначатися тимчасовими витратами, які можна уявити як суму витрат часу всіх ланок окремого підрозділу залізниці.

При цьому, основні допущення полягають у тому, що як вартісні витрати, так і тимчасові витрати окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів знаходяться в обернено пропорційній залежності [19, 60]:

$$E_i = a_i + \frac{b_i}{t_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

де E_i – вартісні витрати;

t_i – тимчасові витрати.

Оцінка значень коефіцієнтів \hat{a}_i , \hat{b}_i може бути здійснена за двома вимірами – у поточному і попередньому періодах.

Якщо задано сумарне значення зменшення часу у вигляді:

$$\sum_{j=1}^n \Delta t_j \leq T,$$

то вартісні витрати мають вигляд:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta E_i,$$

де:

$$\Delta E_i = \hat{b}_i \left(\frac{1}{t_i + \Delta t_i} - \frac{1}{t_i} \right) = - \frac{\hat{b}_i \Delta t_i}{(t_i + \Delta t_i) t_i}.$$

Можна поставити екстремальну задачу: зменшити сумарну тимчасову витрату окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів (затримки) на задану величину T при мінімумі їх сумарних витрат. При цьому критерій буде мати наступний вигляд:

$$J = - \sum_{i=1}^n \frac{\hat{b}_i \Delta t_i}{(t_i + \Delta t_i) t_i} \rightarrow \min(\Delta t_i),$$

з таким обмеженням:

$$\sum_{j=1}^n \Delta t_j \leq \Delta T.$$

Розглянемо умовний екстремум функції n змінних, яке вирішується за допомогою наближень функції Лагранжа. Відповідно до цього функція Лагранжа матиме вигляд:

$$F = - \sum_{i=1}^n \frac{\hat{b}_i \Delta t_i}{(t_i + \Delta t_i) t_i} \lambda \left(\sum_{j=1}^n \Delta t_j - \Delta T \right).$$

Візьмемо диференціал останньої функції частково по $\partial \Delta t_i$ і $\partial \lambda$, а далі прирівнюємо отримані вирази до нуля. В результаті отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial \Delta t_i} = - \frac{\hat{b}_i}{(t_i + \Delta t_i)^2} + \lambda = 0; \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda} = \sum_{j=1}^n \Delta t_j - \Delta T = 0. \end{cases} \quad (3.9)$$

Екстремум значення зменшення витрат часу роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів матиме вигляд:

$$\Delta t_{iext} = -t_i + \frac{\sqrt{\hat{b}_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\hat{b}_j}} \left(\Delta T + \sum_{j=1}^n \Delta t_j \right), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Сполучене завдання має наступний критерій:

$$J = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \rightarrow \min(\Delta t_i),$$

і обмеження:

$$-\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{t_i} \frac{\Delta t_i}{(t_i + \Delta t_i)} \leq \Delta E.$$

Тоді рішення для даного завдання, тобто екстремум значення зменшення витрат часу роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів буде виглядати наступним чином:

$$\Delta t_{iext} = -t_i + \sqrt{b_i} \frac{\sum_{j=1}^n \sqrt{b_j}}{\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{t_j} + \Delta E}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Так само слід розглянути ще одне завдання, яка має наступний критерій рішення:

$$J = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \rightarrow \min(\Delta t_i),$$

і обмеження:

$$-\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{t_i} \frac{\Delta t_i}{(t_i + \Delta t_i)} = -\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{t_i} \frac{1}{\left(1 + \frac{t_i}{\Delta t_i}\right)} = E_0.$$

Візьмемо диференціал функції F частково по $\partial \Delta t_i$ і прирівнюємо до нуля, в результаті маємо:

$$\frac{\partial F}{\partial \Delta t_i} = -\lambda \frac{b_i}{t_i} \frac{t_i}{\Delta t_i^2 \left(1 + \frac{t_i}{\Delta t_i}\right)^2} + 1 = 0;$$

$$\lambda b_i \frac{1}{(t_i + \Delta t_i)^2} = 1;$$

$$(t_i + \Delta t_i)^2 = \lambda b_i;$$

$$\Delta t_i = \sqrt{\lambda} \sqrt{b_i} - t_i.$$

Підставимо останній вираз для Δt_i в аналізоване обмеження. У результаті матимемо:

$$-\sum_{i=1}^n \frac{b_i}{t_i} \frac{\sqrt{\lambda} \sqrt{b_i} - t_i}{\sqrt{\lambda} \sqrt{b_i}} = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{t_i} \left(\frac{t_i}{\sqrt{\lambda} \sqrt{b_i}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{\sqrt{\lambda}} - \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{t_i} = E_0.$$

$$\sqrt{\lambda} = \frac{\sum_{j=1}^n \sqrt{b_j}}{E_0 + \sum_{j=1}^n \frac{b_j}{t_j}}.$$

Тоді рішення для даного завдання, тобто екстремум значення зменшення витрат часу роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів матиме такий вигляд:

$$\Delta t_{iext} = -t_i + \sqrt{b_i} \frac{\sum_{j=1}^n \sqrt{b_j}}{\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{t_j} + E_0}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Облік тимчасових витрат роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів істотно перерозподіляє розподіл ефективності.

Якщо весь дохід роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів надходить до центру, який методом трансфертних платежів встановлює рентабельність окремих підрозділів, то раціональна оцінка їх величин є актуальним завданням. При цьому основне допущення полягає в тому, що відомі середні витрати кожного окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів ($E_i, i = 1, 2, \dots, n$), які розглядаються як сукупність позитивних випадкових величин.

Тоді сумарні витрати окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів будуть визначатися за формулою:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n E_i,$$

а рентабельність роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів наступним виразом:

$$R = \frac{D}{E_{\Sigma}}.$$

Найпростішим способом оцінки потоку рентабельності окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів є використання наступних виразів:

$$r_i = \frac{R}{n} = \text{const} = r;$$

$$T_i = (1 - r)E_i;$$

$$D = R \sum_{i=1}^n E_i.$$

Отже, завдання в детермінованому варіанті вирішено. Але оскільки витрати окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів є випадковими величинами з законом розподілу у вигляді n -мірної функції щільності ймовірностей $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, яка задовольняє умовам нормування:

$$\int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} f(\bar{x}) d\bar{x} = 1,$$

а також відомо n середніх значень m_i :

$$\int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} x_i f(\bar{x}) d\bar{x} = m_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

то якщо в якості критерію вибору функції щільності ймовірності приймається ентропія системи (міра невизначеності):

$$H(\bar{x}) = - \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} f(\bar{x}) \ln f(\bar{x}) d\bar{x} \rightarrow \max,$$

то задача визначення закону розподілу зведена до виродження ізомірнометричної варіаційної задачі, рішення якої з урахуванням обмеження має вигляд:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{1}{\prod_{i=1}^n m_i} \exp \left(- \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{m_j} \right).$$

Таким чином, при зроблених припущеннях випадкові величини (x_1, x_2, \dots, x_n) є незалежними і, отже, некорельованими.

Отже закон розподілу має вигляд:

$$f(t_i) = \frac{1}{m_{t_i}} e^{-\frac{t_i}{m_{t_i}}}, \quad t_i \in [0, \infty),$$

з числовими характеристиками:

$$m_{t_i} = (1 - r)m_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

$$\sigma_{t_i} = (1 - r)m_i.$$

Якщо в якості критерію ефективності застосувати показник:

$$J = \prod_{i=1}^n r_i \rightarrow \max,$$

де r_i – рентабельність (ефективність) i -го окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів:

$$r_i = \frac{D_i}{E_i};$$

$$D_i = r_i E_i,$$

то

$$\sum_{i=1}^n D_i = \sum_{i=1}^n r_i E_i = D.$$

Якщо витрати окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів E_i відомі, то завдання оцінки їх рентабельності можна сформулювати як задачу на умовний екстремум. При цьому критерій буде мати наступний вигляд:

$$J = \prod_{i=1}^n r_i \rightarrow \max,$$

з обмеженням:

$$\sum_{i=1}^n r_i E_i = D.$$

Тоді запишемо наступне:

$$\prod_{j \neq i}^n r_j + \lambda E_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

$$\prod_{j=1}^n r_j + \lambda E_i r_i = 0.$$

Підсумовуючи, отримаємо:

$$n \prod_{j=1}^n r_j + \lambda D = 0;$$

$$\prod_{j=1}^n r_j = (-\lambda) \frac{D}{n} = 0;$$

$$r_i = -\frac{\prod_{j=1}^n r_j}{\lambda E_i} = \frac{\lambda \frac{D}{n}}{\lambda E_i} = \frac{D}{n E_i}.$$

Тому:

$$D_i = r_i E_i = \frac{D}{n}.$$

Для оцінки ефективності роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів замість коефіцієнта ефективності $r = D/E$ можна використовувати коефіцієнт витратності E/D , тобто яка кількість доходу призведе до відповідних витрат:

$$z_i = \frac{E_i}{D_i}.$$

Для вирішення даного завдання поставимо критерій, який матиме такий вигляд:

$$J = \sqrt{\sum_{j=1}^n z_j^2},$$

а обмеження, при цьому, такий вигляд:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i \leq z_0.$$

В даному обмеженні використовується коефіцієнти значущості i -го окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів α_i , які задаються експертно [35, 50, 61, 75, 90].

Запишемо екстремальне рівняння:

$$\frac{z_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^n z_j^2}} + \lambda \alpha_i = 0. \quad (3.10)$$

Звідси:

$$z_i = (-\lambda) \alpha_i \sqrt{\sum_{j=1}^n z_j^2}.$$

Помножимо на α_j екстремальне рівняння (3.10), в результаті отримаємо наступне:

$$\frac{z_0}{\sqrt{\sum_{j=1}^n z_j^2}} + \lambda \sum_{j=1}^n \alpha_j^2 = 0.$$

Звідси маємо:

$$\sqrt{\sum_{j=1}^n z_j^2} = \frac{z_0}{(-\lambda) \sum_{j=1}^n \alpha_j^2}.$$

Тоді екстремальне значення коефіцієнта витратності роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів матиме вигляд:

$$z_{iext} = \frac{(-\lambda) \alpha_i z_0}{(-\lambda) \sum_{j=1}^n \alpha_j^2} = \frac{\alpha_i}{\sum_{j=1}^n \alpha_j^2} z_0.$$

Тому:

$$\Delta z_i = z_{i\text{факт}} - z_{iext},$$

при $D = \text{const}$

$$\Delta E_i = D \Delta z_i.$$

Дані результати можуть бути використані при підвищенні ефективності роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів.

3.3 Застосування методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів

При застосуванні методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів, як під час проведення технічного обслуговування та ремонту, так і під час виконання технічного контролю, запишемо вираз для визначення ймовірності їх безвідмовної роботи в процесі експлуатації:

$$P_{BB} \leq \prod_{i,j,k=1}^{n,m,p} P_{ijk} + \sum_{i,j,k=1}^{n,m,p} \Delta P_{ijk} \xi_{ijk} \leq 1, \quad (3.11)$$

де P_{ijk} – ймовірність безвідмовної роботи буксових вузлів вантажних вагонів після i -го технічного обслуговування, j -го ремонту чи k -го технічного контролю, встановлена при застосуванні методів діагностики;

ΔP_{ijk} – ймовірність встановлення діагнозу буксових вузлів вантажних вагонів після i -го технічного обслуговування, j -го ремонту чи k -го технічного контролю, встановлена при застосуванні методів діагностики в межах діагнозу;

ξ_{ijk} – значимість діагностичного параметру, отриманого за допомогою певного методу діагностики буксових вузлів вантажних вагонів після i -го технічного обслуговування, j -го ремонту чи k -го технічного контролю;

n, m, p – кількість технічних обслуговувань, ремонтів та технічних контролів відповідно.

Якщо не застосовувати методи діагностики буксових вузлів вантажних вагонів, другий складник у виразі (3.11) буде рівний

$$\sum_{i,j,k=1}^{n,m,p} \Delta P_{ijk} \xi_{ijk} = 0 ,$$

у випадку не урахування дії людського фактору при встановленні діагнозу про належну відповідність технічного стану буксового вузла, а якщо врахувати дію, то вираз прийме наступний вигляд:

$$P_{BB} \leq \prod_{i,j,k=1}^{n,m,p} (P_{ijk} - P_{hijk}) \leq 1 , \quad (3.12)$$

де P_{hijk} – ймовірність помилки обслуговуючого персоналу при встановленні діагнозу про належну відповідність технічного стану буксового вузла після i -го технічного обслуговування, j -го ремонту чи k -го технічного контролю.

З іншого боку, ймовірність встановлення діагнозу буксових вузлів вантажних вагонів після i -го технічного обслуговування, j -го ремонту чи k -го технічного контролю, встановлена при застосуванні методів діагностики в межах діагнозу можна записати із застосуванням відносної оцінки діагностичного параметру в наступному вигляді:

$$\Delta P_{ijk} = \frac{\sum_{i,j,k=1}^{n,m,p} z_{ijk} \xi_{ijk}}{\sum_{i,j,k=1}^{n,m,p} z_{ijk}} , \quad (3.13)$$

де z_{ijk} – відносна оцінка діагностичного параметру при встановленні діагнозу буксовому вузлу вантажних вагонів після i -го технічного обслуговування, j -го ремонту чи k -го технічного контролю.

Тоді вираз (3.11) прийме наступний вигляд:

$$P_{BB} \leq \prod_{i,j,k=1}^{n,m,p} P_{ijk} + \frac{\sum_{i,j,k=1}^{n,m,p} z_{ijk} \xi_{ijk}^2}{\sum_{i,j,k=1}^{n,m,p} z_{ijk}} \leq 1 \quad (3.14)$$

Використовуючи величину безвідмовної роботи буксових вузлів вантажних вагонів, запишемо вираз для оцінки ризику, що може настати в процесі експлуатації:

$$R_{BB} = 1 - P_{BB} \quad (3.15)$$

Для надання оцінки ризикам, що можуть виникати в процесі експлуатації вантажних вагонів, після i -го технічного обслуговування, j -го ремонту чи k -го технічного контролю, ґрунтуючись на виразі (3.14) та (3.15), запишемо наступне:

$$R_{BB} = 1 - \prod_{i,j,k=1}^{n,m,p} P_{ijk} - \frac{\sum_{i,j,k=1}^{n,m,p} z_{ijk} \xi_{ijk}^2}{\sum_{i,j,k=1}^{n,m,p} z_{ijk}} \quad (3.16)$$

Варто зазначити, що під час діагностики та моніторингу стану буксового вузла вантажного вагона в експлуатації застосовують різні методи, наприклад:

1. Візуальний Огляд:

- Регулярний огляд зовнішнього стану буксового вузла для виявлення видимих пошкоджень, зношеності, тріщин та інших дефектів.

2. Магнітопорошкова Дефектоскопія:

- Застосування магнітопорошкового методу для виявлення тріщин та інших дефектів на поверхнях буксового вузла.

3. Ультразвукова Діагностика:

- Вимірювання товщини металу та виявлення внутрішніх дефектів за допомогою ультразвукових методів.

4. Термографічне Зображення:

- Використання термографії для виявлення аномальних температурних зон, що можуть свідчити про проблеми в роботі підшипників чи інших елементів.

5. Акустичні Методи:

- Застосування акустичних сенсорів для виявлення звукових ознак потенційних дефектів або проблем в роботі буксового вузла.

6. Інфрачервона Дефектоскопія:

- Використання інфрачервоних камер для виявлення температурних аномалій, що можуть вказувати на проблеми.

7. Вимірювання Геометричних Параметрів:

- Визначення геометричних параметрів, таких як зношеність колій, відхилення та інші параметри, за допомогою лазерних вимірювачів та інших пристроїв.

Ці методи використовуються для забезпечення безпеки та ефективності руху вантажних вагонів і вчасного виявлення потенційних дефектів.

При технічному обслуговуванні та ремонті буксових вузлів вантажних вагонів застосовуються різні методи неруйнівного контролю (НК), які дозволяють виявити потенційні дефекти та забезпечити безпеку та ефективну експлуатацію. Наприклад:

1. Ультразвукова Діагностика (УЗК):

- Вимірювання витривалості матеріалів та виявлення внутрішніх дефектів за допомогою ультразвукових хвиль.

2. Магнітопорошкова Дефектоскопія:

- Використання магнітопорошкового методу для виявлення тріщин та інших дефектів на поверхнях буксового вузла.

3. Рентгенівська Дефектоскопія:

- Використання рентгенівського випромінювання для виявлення внутрішніх дефектів та невидимих пошкоджень.

4. Магнітна Дефектоскопія:

- Вимірювання магнітних властивостей матеріалів для виявлення змін, пов'язаних з тріщинами та іншими дефектами.

5. Візійна Дефектоскопія:

- Використання відеокамер та інших оптичних пристроїв для візуального огляду важкодоступних місць.

6. Термографічна Діагностика:

- Вимірювання температурних різниць для виявлення аномалій, таких як термічні тріщини.

7. Акустична Діагностика:

- Використання акустичних сенсорів для виявлення звукових ознак дефектів чи проблем.

8. Вібраційний Моніторинг:

- Використання вібраційних сенсорів для виявлення аномалій у рухомих частинах буксового вузла, таких як підшипники.

Ці методи НК дозволяють інженерам та технікам проводити ефективний моніторинг та діагностику стану буксових вузлів без необхідності розбирання частин вагону, що значно полегшує процес технічного обслуговування та ремонту.

Оскільки вібродіагностика буксових вузлів вантажних вагонів виключає вплив людського фактору, то саме вплив останнього є мінімальний у порівнянні з іншими методами.

Застосування вібродіагностики буксових вузлів вантажних вагонів дає менші помилки в процесі діагностування у порівнянні з іншими методами. Це досягається тим, що в системі вібродіагностики застосовується вимірювальна апаратура з більш високими метрологічними характеристиками. Менша методична похибка досягається застосуванням більш досконалих алгоритмів і технологій діагностування.

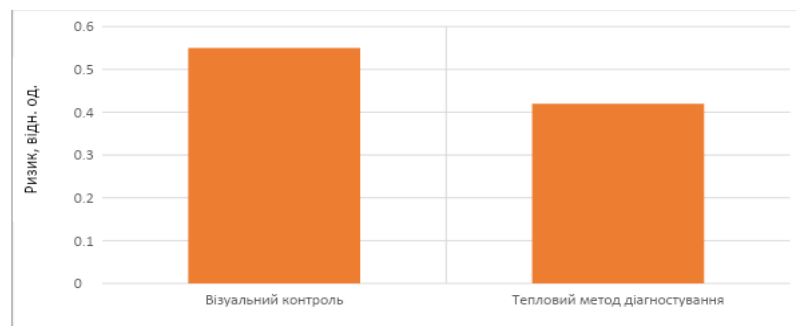
Для розрахунку ризиків, що можуть виникати в процесі експлуатації вантажних вагонів після виконання деповського ремонту буксового вузла з

використанням різних методів діагностування в таблиці 3.1, 3.2 наведено вихідні дані для одного вантажного вагону.

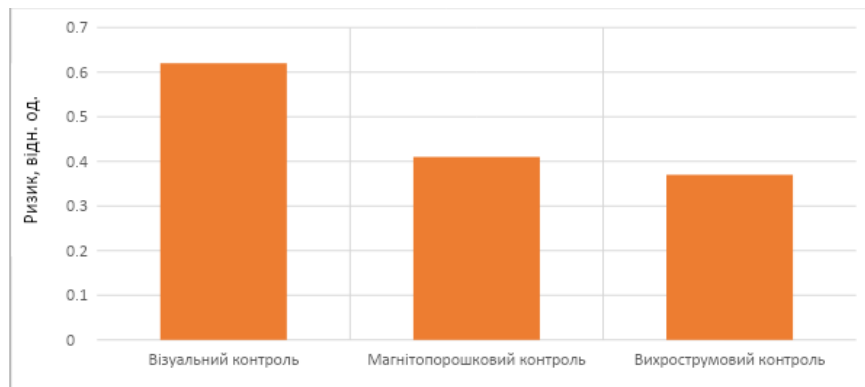
Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку ризиків, що можуть виникати в процесі експлуатації для одного вантажного вагону після виконання деповського ремонту буксового вузла

	Візуальний контроль			Тепловий метод діагностування			Віброакустична діагностика		
	P	z	ξ	P	z	ξ	P	z	ξ
i	0,55	0,11	0,31	0,65	0,13	0,29	0,75	0,17	0,31
j	0,65	0,12	0,39	0,74	0,15	0,44	0,77	0,18	0,47
k	0,75	0,14	0,48	0,82	0,18	0,48	0,83	0,2	0,51
	Візуальний контроль			Магнітопорошковий контроль			Вихрострумний контроль		
	P	z	ξ	P	z	ξ	P	z	ξ
i	0,55	0,12	0,29	0,63	0,17	0,34	0,67	0,15	0,33
j	0,59	0,13	0,38	0,75	0,19	0,49	0,76	0,17	0,47
k	0,67	0,14	0,47	0,81	0,21	0,51	0,82	0,19	0,49

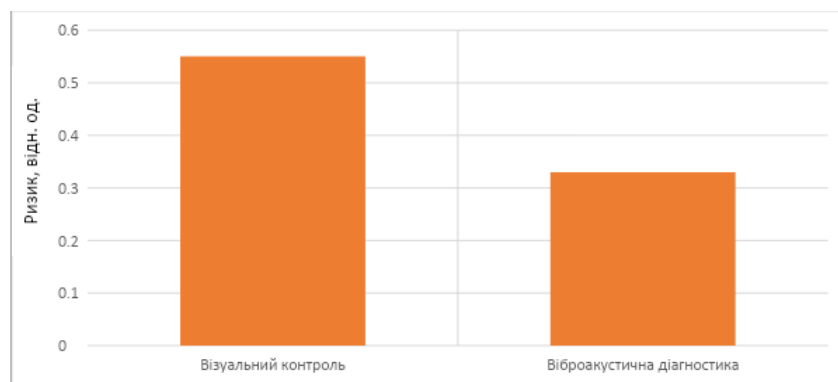
Для виконання ілюстрації виразу (3.16) виконаємо графічне відображення, виходячи з даних таблиці 3.1, для різних методів діагностування, а відповідно і діагностичних параметрів, ризиків, що можуть виникати в процесі експлуатації вантажних вагонів. Результати наведено на рисунок 3.3.



а



б



в

Рисунок 3.3. Ризики, що можуть виникати в процесі експлуатації вантажних вагонів після виконання деповського ремонту буксового вузла з використанням різних методів діагностування: а – під час експлуатації і технічному обслуговуванні; б – під час деповського ремонту; в – під час технічного обслуговування і деповського ремонту

З рисунка 3.3 можемо бачити, що найменший ризик, що може виникнути в процесі експлуатації вантажних вагонів, при виконанні технічного обслуговування і деповського ремонту буксового вузла припадає при використанні методу діагностування за віброакустичними параметрами. Тому, даний метод діагностування було рекомендовано до впровадження у вагонному депо Батуринська Придніпровської залізниці.

Віброакустичний метод діагностики базується на вимірюванні звукових коливань, які виникають під час руху буксового вузла. Під час експлуатації вантажного вагону відбувається ряд різних фізичних взаємодій,

таких як тертя, удари, або інші механічні подразники. Ці процеси можуть генерувати характерні звукові сигнали.

В рамках віброакустичного методу, сенсори акустичних коливань або вібрацій розміщуються на ключових частинах буксового вузла. Ці сенсори реєструють акустичні сигнали і передають ці дані для аналізу.

Переваги віброакустичного методу діагностики:

1. Неруйнівність:

- Віброакустичний метод є неруйнівним, що означає, що для проведення діагностики не потрібно розбирати або втручатися в конструкцію букси. Це забезпечує ефективне технічне обслуговування без необхідності залучення додаткових ресурсів на розбирання вузла.

2. Висока Чутливість:

- Віброакустичний метод дозволяє виявляти і аналізувати навіть малі зміни в акустичних сигналах, що може вказувати на ранні стадії дефектів або проблем в роботі буксового вузла.

3. Широкий Діапазон Застосувань:

- Цей метод може бути успішно застосований для діагностики різних елементів буксового вузла.

5. Ефективність:

- Віброакустичний метод є ефективним у виявленні різноманітних дефектів, таких як тріщини, нерівномірне зношення, або виробничі несправності.

Загалом, віброакустичний метод є важливим інструментом для технічного обслуговування та діагностики буксових вузлів вантажних вагонів, дозволяючи оперативно виявляти та усувати потенційні проблеми.

3.4 Висновки до розділу 3

У розділі побудовано математичну модель ризиків на залізничному транспорті при застосуванні діагностики буксових вузлів вантажних вагонів,

яка дозволяє надати оцінку безпеці руху при здійсненні вантажних перевезень та визначити подальші заходи щодо зниження ризиків. У процесі оцінки рівня індивідуальних підходів і загальних інтересів окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів в умовах невизначеності були розглянуті варіанти граничних можливостей окремого підрозділу залізниці, при цьому встановлено, що при рівноважному розподілі екстремальні значення дорівнюють $x_{ext} = \frac{x_{max}}{2}$, $y_{ext} = \frac{y_{max}}{2}$; для випадку домінування технічних обслуговувань буксового вузла вантажних вагонів $x_{ext} = 0,58x_{max}$, $y_{ext} = 0,66y_{max}$, а для випадку домінування ремонтів буксового вузла вантажних вагонів $x_{ext} = 0,33x_{max}$, $y_{ext} = 0,44y_{max}$.

Для оцінки ефективності роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів запропоновано використовувати коефіцієнт ефективності і коефіцієнт витратності, за допомогою яких можна визначити раціональний розподіл виконання технічного обслуговування та ремонту, тим самим, підвищити ефективність роботи.

Вперше розроблена математична модель ризиків на залізничному транспорті при застосуванні методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла, яка включає ймовірність безвідмовної роботи буксових вузлів вантажних вагонів, ймовірність встановлення діагнозу буксових вузлів вантажних вагонів, значимість діагностичного параметру та його відносну оцінку після i -го технічного обслуговування, j -го ремонту чи k -го технічного контролю дозволяє визначити рівень ризиків і тим самим обрати найкращий метод діагностування для підвищення безпеки руху поїздів.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РИЗИКІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДІАГНОСТИКИ БУКСОВОГО ВУЗЛА ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

4.1 Результати впровадження технології діагностування буксового вузла вантажних вагонів

Оскільки теоретично встановлено, що найменший ризик, що може виникнути в процесі експлуатації вантажних вагонів після виконання відповідних технічного обслуговування, ремонту і технічного контролю буксового вузла припадає при використанні методу діагностування за віброакустичними діагностичними параметрами, то даний метод діагностування запропоновано до впровадження у ВЧДР та ВЧДЕ на Придніпровській залізниці. Конкретно, стенд діагностування за віброакустичними параметрами впроваджено у ВЧДР Батуринське.

У результаті виконання експериментальних досліджень встановлено наступне:

- кількість відмов буксових вузлів вантажних вагонів, що призвели до транспортних подій на час дослідження (початок 2017 – кінець 2019 року) становила – 12 випадків за виною ВЧДР Батуринська; інші відмови не контролювалися, а також інші дані з транспортних подій приведені в розділі 1;

- ризик, що припадає на відмови буксових вузлів вантажних вагонів, що призвели до транспортних подій становить:

$$R = \frac{12}{32} = 0,375.$$

При використанні методу діагностування за віброакустичними діагностичними параметрами у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці при проведенні технічного обслуговування та ремонту, кількість відмов буксових вузлів вантажних вагонів знизилась і становила 4 випадки (кінець 2020 року).

Загальний ризик, що припадає на відмови буксових вузлів вантажних вагонів, які можуть привести до транспортних подій, становить наступне значення:

$$R = \frac{4}{27} = 0,148.$$

Порівняння було зроблено, виходячи з приблизно однакової кількості відремонтованих вагонів у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці в 2019 і 2020 рр. Крім того, вантажообіг Придніпровською залізницею у 2020 р. був вищий на 17 % в порівнянні з 2019 р. Тому наведені вище вартості ризиків є адекватними.

На основі даних, отриманих у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці за 2019 і 2020 рр. щодо відмов буксових вузлів вантажних вагонів при звичайній технології технічного обслуговування та ремонту і з застосуванням віброакустичної діагностики були виконані порівняльні розрахунки ризиків відмов. Кількість відмов буксових вузлів вантажних вагонів, що припадає на 10 вагонів у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці в 2019-2020 рр. наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Кількість відмов буксових вузлів вантажних вагонів, що припадає на 10 вагонів у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці в 2019-2020 рр.

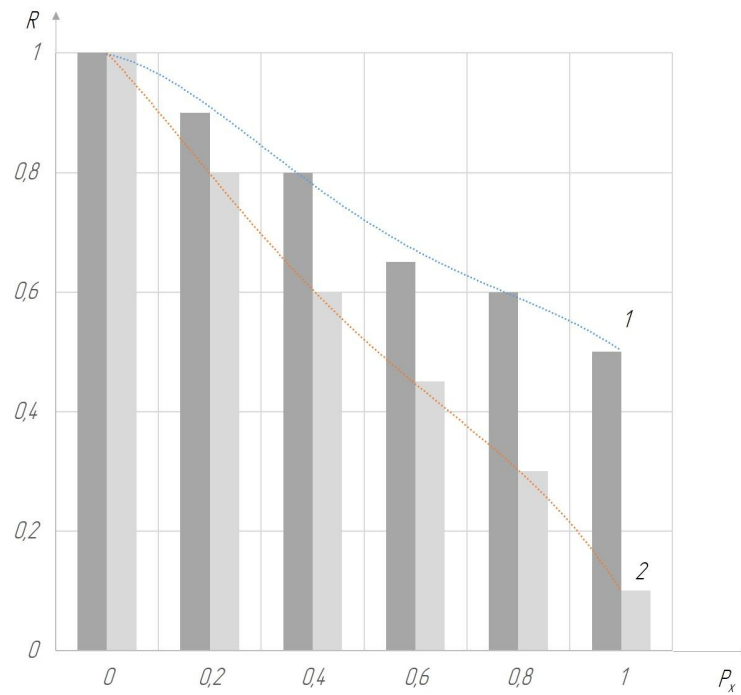
№ п/п	Імовірність успішного виконання поставленого завдання, P_x					
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	10	9	8	6,5	6	5
2	10	8	6	4,5	3	1

1 – звичайна технологія технічного обслуговування та ремонту

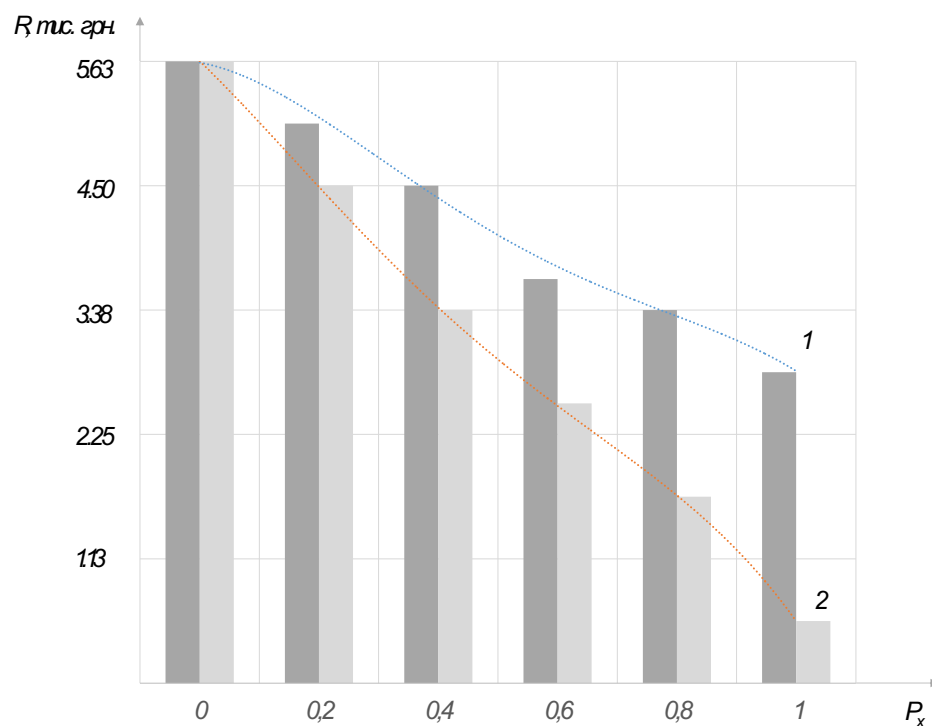
2 – технологія технічного обслуговування та ремонту з застосуванням віброакустичної діагностики

Виходячи з рівня збитків при відмовах буксових вузлів вантажних вагонів за 2018-2019 рр., середній рівень збитків становить 5,63 тис. грн. на одну відмову. Тож приведемо на рисунку 4.1, б залежності ризиків відмов

буксових вузлів вантажних вагонів (у гривнях) від ймовірності виконання поставленого завдання з технічного обслуговування і ремонту.



а



б

Рисунок 4.1. Розподіл ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів (а) і ризиків у гривнях (б) при звичайній технології технічного

обслуговування та ремонту (1) і з застосуванням віброакустичної діагностики (2) у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці впродовж 2019-2020 рр.

З рисунку 4.1 можемо бачити, що ризики відмов буксових вузлів вантажних вагонів при звичайній технології технічного обслуговування та ремонту у порівнянні з застосуванням віброакустичної діагностики в 1,125...5 рази вищі. Це вказує на доцільність застосування при технічному обслуговуванні та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів віброакустичної діагностики, оскільки вона зменшує вплив людського фактору на технологічні процеси.

Крім того, наведені розподіли відмов букс вантажних вагонів при експлуатації зі звичайною технологією ТО і ремонту (1) і з застосуванням віброакустичної діагностики (2) в порівнянні з теоретичними значеннями (рисунок 2.4) мають відхилення в значеннях, які становлять не більше 8%. Це свідчить про прийнятний збіг теоретичних і експериментальних розрахунків ризиків, які трапилися внаслідок відмов буксових вузлів вантажних вагонів після технічного обслуговування та ремонту.

Практична цінність розробленого методу визначення ризиків, що виникають при відмовах буксових вузлів вантажних вагонів, полягає в можливості оцінки безпеки залізничного транспорту. Крім того, для зниження ризиків, пов'язаних з відмовами буксових вузлів вантажних вагонів, було запропоновано використання віброакустичної діагностики при технічному обслуговуванні та ремонті. У результаті отримано зниження ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці в 1,1...3,7 рази.

4.2 Техніко-економічна ефективність використання методу діагностування буксових вузлів вантажних вагонів

Оскільки було запропоновано використання методу діагностування за віброакустичними параметрами у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці при проведенні технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів, то для окремих підрозділів вагонного господарства домінуючий показник ефективності їх функціонування може бути прийнятий у вигляді часу затримки певного потоку технічного обслуговування чи ремонту як окремо, так і в цілому.

В принципі будь-який логістичний ланцюжок може бути розглянутий як спрямована послідовність ланок. Будь-яка ланка логістичного ланцюжка може бути охарактеризована часом затримки матеріального потоку. У результаті величина сумарного часу затримки в логістичному ланцюжку визначається сумою часу затримки для кожної ланки. При цьому ставиться основне завдання по мінімізації часу затримки в логістичному ланцюжку. У разі допущення для залежності часу, що вона є спадаючої функцією обсягів інвестицій, які вкладено на зниження загального часу затримки в логістичному ланцюжку (пришвидшення технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів):

$$t_i = f(z_i) = a_i e^{-a_i z_i}, \quad (4.1)$$

де t_i – значення часу затримки для i -го окремого підрозділу вагонного господарства при виконанні технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів;

z_i – значення обсягів інвестицій, які вкладені в i -ий окремий підрозділ вагонного господарства для зниження загального часу затримки при виконанні технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів;

a_i – змінний коефіцієнт часу затримки для i -го окремого підрозділу вагонного господарства при виконанні технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів.

Для випадку, коли фактичний час затримки виконання технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів відомий, така величина може бути прийнята у вигляді середнього часу затримки [60]:

$$t_i^{\phi} = \underline{t}_i \quad (4.2)$$

Середнє значення обсягів інвестицій може бути визначено за наступною формулою:

$$\underline{z} = \int_0^{\infty} z a_i e^{-az} dz = \frac{1}{a}, \quad (4.3)$$

або ж:

$$\underline{z} = \frac{1}{a} = \frac{1}{a} \ln \frac{a}{\underline{t}}. \quad (4.4)$$

Переписавши останню рівність, отримаємо:

$$a = e \underline{t}.$$

Слід врахувати, що для кожного окремого підрозділу вагонного господарства при виконанні технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів можна суб'єктивно надати за допомогою експертної оцінки величину значущості зниження затримки виконання. Тоді величина сумарного часу затримки при виконанні технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів матиме таке значення:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n L_i t_i, \quad (4.5)$$

де L_i – величина коефіцієнта значущості i -го окремого підрозділу вагонного господарства при виконанні технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів.

Для умов обмеженого обсягу інвестицій φ для окремого підрозділу вагонного господарства при виконанні технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів можна поставити екстремальну задачу, для якої:

- критерій:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n L_i t_i \rightarrow \min, \quad (4.6)$$

з обмеженням:

$$\sum_{i=1}^n Z_i \leq \varphi. \quad (4.7)$$

де Z_i – значення обсягів інвестицій.

У разі введення позитивної константи β , вираз для обмеження, який наведено як нерівність, може бути зведене до виразу для обмеження як рівність:

$$\left(\varphi - \sum_{i=1}^n Z_i \right) \sum_{j=1}^n Z_j - \beta^2 = 0. \quad (4.8)$$

В цьому випадку, формування завдання по мінімізації величини часу затримки виконання технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів проводиться з таким критерієм:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n L_i e_{\underline{t}_i} e^{-e_{\underline{t}_i} Z_i}, \quad (4.9)$$

з обмеженням:

$$\left(\varphi - \sum_{i=1}^n Z_i \right) \sum_{j=1}^n Z_j - \beta^2 = 0. \quad (4.10)$$

Вищенаведена екстремальна задача матиме таке рішення:

$$Z_{iext} = \frac{2lne\bar{t}_i}{e\bar{t}_i} - \frac{1}{e\bar{t}_i} \left(\frac{2 \sum_{j=1}^n \frac{lne\bar{t}_j}{e\bar{t}_j} - \varphi}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{e\bar{t}_j}} \right), \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (4.11)$$

Коли вкладені інвестиції в окремий підрозділ вагонного господарства для прискорення процесу виконання технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів зроблені оптимальним методом, то, якщо ввести звичайне припущення, що

$$\sum_{i=1}^n L_i = 1, \quad (4.12)$$

то далі визначаються коефіцієнти значущості:

$$\hat{L}_j (j = 1, 2, \dots, n - 1); \quad (4.13)$$

$$\hat{L}_n = 1 - \sum_{j=1}^{n-1} \hat{L}_j; \quad (4.14)$$

$$\hat{L}_j = \frac{1}{e\bar{t}_i} \sum_{j=1}^n \frac{1}{e\bar{t}_i^2}. \quad (4.15)$$

Оцінка коефіцієнтів значущості при вкладенні певних інвестицій для зниження часу затримки виконання технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів (формули (4.14)-(4.15)) представлена у вигляді діаграми на рисунку 4.2.

З рисунку 4.2 видно, що коефіцієнт значущості вкладень інвестицій по зниженню часу затримки виконання технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів, вказують на необхідність таких вкладень в операцію – віброакустичне діагностування. На другому місці за значимістю

знаходиться операція – оновлення рухомого складу, яка також може привести до зниження часу затримки виконання технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів при вкладенні інвестицій. На третьому місці – впровадження нового технологічного процесу, а на четвертому – оновлення основних засобів вагонного господарства.

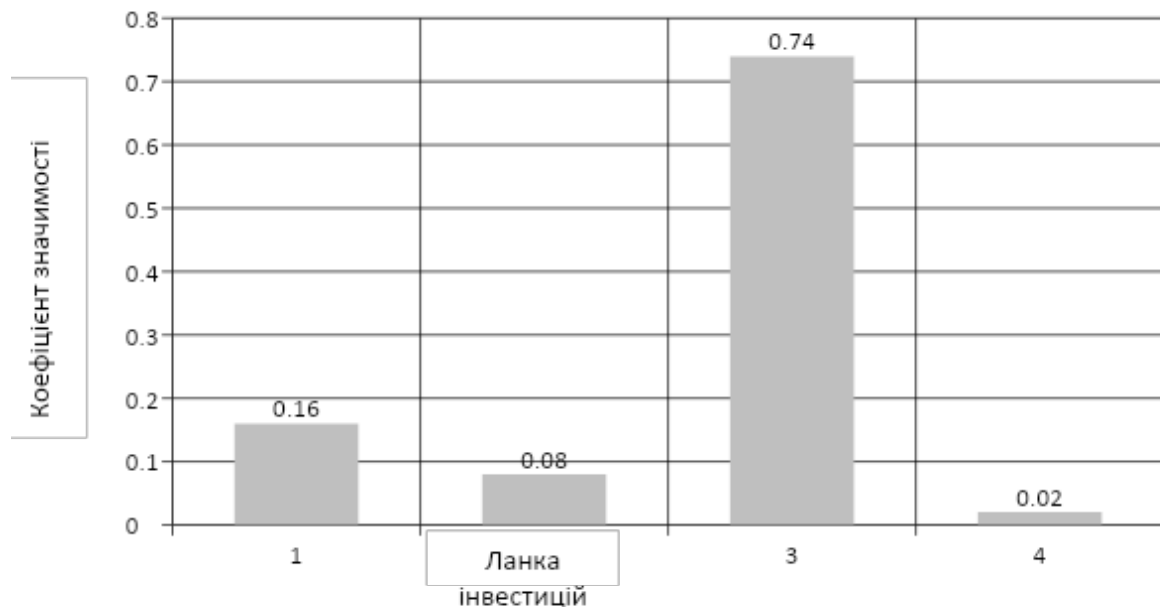


Рисунок 4.2. Коефіцієнти значущості інвестиційних вкладень по зниженню часу затримки процесу виконання технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів в окремих підрозділах вагонного господарства

В умовах високої динаміки зовнішнього середовища, мінімальної інформації про поточний стан і обмежених фінансових ресурсах проблема вибору основних напрямків розвитку окремого підрозділу вагонного господарства стає особливо важливою в умовах невизначеності.

Крім того, слід зазначити, що як правило модель окремого підрозділу вагонного господарства вибирається досить суб'єктивно і основні чинники, що характеризують функціонування окремого підрозділу вагонного господарства, також не визначені.

На вище перелічені невизначеності накладається ще один фактор – при розвитку окремого підрозділу вагонного господарства, ентропія як міра невизначеності за одними факторами зростає, а за іншими факторами – зменшується, тобто за одними факторами збільшується порядок, впорядкованість, організованість, а за іншими – навпаки, погіршується порядок і організованість. Перехід окремого підрозділу вагонного господарства в усіх напрямках розвитку не відбувається.

Тому завдання вибору напрямків розвитку окремого підрозділу вагонного господарства стає вкрай значущою і помилка може призвести до катастрофічних наслідків. Тому міркуємо так.

Вводимо основні допущення:

1. В якості моделі функціонування окремого підрозділу вагонного господарства вибираємо чотирьохфакторну середньгеометричну вартісну модель, вигляду:

$$\gamma = \prod_{i=1}^4 x_i^{\alpha_i}, \quad (4.16)$$

де γ – обсяг виконання технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів;

x_1 – основні виробничі фонди;

x_2 – вартість робочої сили (фонд оплати праці плюс соціальні відрахування);

x_3 – вартість ресурсів;

x_4 – обсяг довгострокових залучених фінансових коштів;

α_i – коефіцієнт впливу ($i=1, 2, 3, 4$).

2. Статистика мінімальна, тобто значення факторів і обсяг продукції відомі тільки в один момент часу (наприклад, поточне значення).

4. Обсяг фінансових коштів обмежений величиною φ .

4. В якості критерію розвитку приймаємо:

- обсяг виконання технічного обслуговування чи ремонту буксових вузлів вантажних вагонів окремого підрозділу вагонного господарства;
- продуктивність робочої сили.

Завдання вибору ключових напрямків розвитку окремого підрозділу вагонного господарства може бути вирішена в два етапи:

- оцінка значень впливу (за одномоментними оцінками значень ключових чинників);
- з урахуванням «заморожених» значень коефіцієнтів впливу при заданому обсязі фінансових коштів (проводиться оцінка варіабельності основних ключових факторів (напрямів розвитку окремого підрозділу вагонного господарства)).

1. Одномоментна оцінка значень коефіцієнтів впливу проводиться як вирішення екстремальній завдання:

- критерій:

$$Y_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \alpha_i^2} \rightarrow \min(\alpha_i); \quad (4.17)$$

- обмеження:

$$\prod_{i=1}^4 x_i^{\alpha_i} - \gamma = 0, \alpha_i \geq 0, (i = 1, 2, 3, 4). \quad (4.18)$$

На рисунку 4.3 представлена двовимірна графічна інтерпретація співвідношення критерію і обмеження окремого підрозділу вагонного господарства.

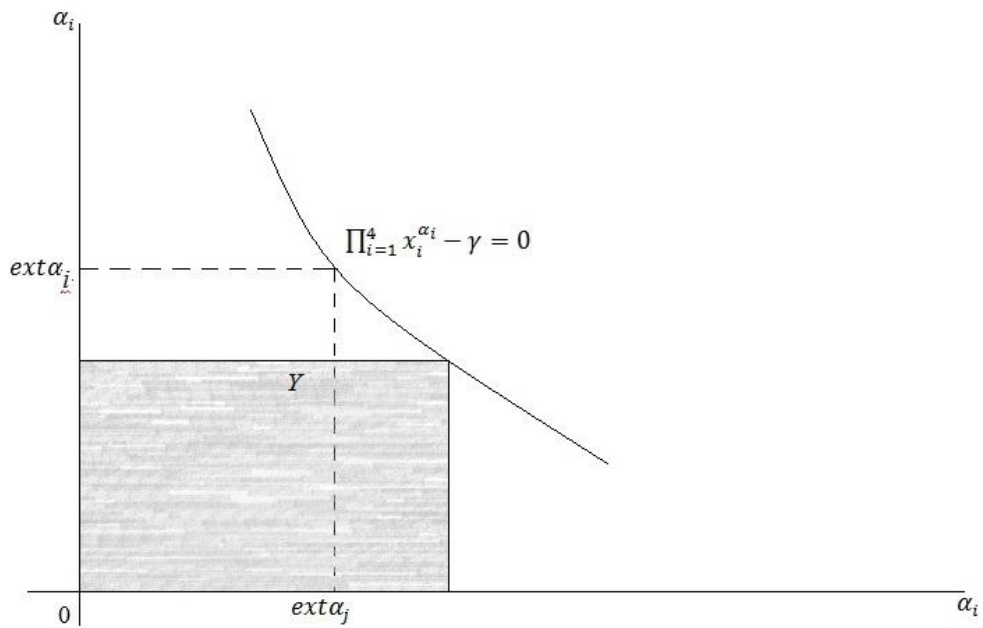


Рисунок 4.3. Двовимірний графічний модель співвідношення обмеження і критерію оптимальності окремого підрозділу вагонного господарства

Далі розглянемо розподіл витрат окремого підрозділу вагонного господарства в умовах невизначеності. Загальні витрати окремого підрозділу вагонного господарства складаються з умовно-постійних і змінних (залежних) витрат:

$$z = p + q, \quad (4.19)$$

де z – загальні витрати окремого підрозділу вагонного господарства;

p – умовно-постійні витрати окремого підрозділу вагонного господарства;

q – змінні (залежні) витрати окремого підрозділу вагонного господарства.

Дані складові загальних витрат окремого підрозділу вагонного господарства p і q розподіляються за законами [4, 31]:

$$f(p) = \frac{1}{p_0} \exp \exp \left(-\frac{p}{p_0} \right); \quad (4.20)$$

$$f(q) = \frac{1}{q_0} \exp \exp \left(-\frac{q}{q_0} \right). \quad (4.21)$$

Тоді закон розподілу загальних витрат окремого підрозділу вагонного господарства матиме вигляд:

$$f(z) = \frac{1}{p_0 - q_0} \left(\exp \exp \left(-\frac{z}{p_0} \right) - \exp \exp \left(-\frac{z}{q_0} \right) \right). \quad (4.22)$$

Візьмемо диференціал останнього виразу щільності розподілу витрат $f(z)$ по z і прирівняємо до нуля:

$$\frac{df}{dz} = -\frac{1}{p_0} \exp \exp \left(-\frac{z}{p_0} \right) + \frac{1}{q_0} \exp \exp \left(-\frac{z}{q_0} \right) = 0.$$

Будемо мати таке відношення витрат:

$$\frac{q_0}{p_0} = \exp \left(\frac{z}{p_0} - \frac{z}{q_0} \right).$$

З останнього виразу знайдемо загальні витрати z :

$$z = \frac{\ln \frac{q_0}{p_0}}{\frac{1}{p_0} - \frac{1}{q_0}}. \quad (4.23)$$

Так само візьмемо інтеграл з виразу (4.8) на інтервалі $(0; \infty)$, в результаті отримаємо:

$$\int_0^{\infty} f(z) dz = \frac{1}{p_0 - q_0} \left(-p_0 \exp \exp \left(-\frac{z}{p_0} \right) \Big|_0^{\infty} + q_0 \exp \exp \left(-\frac{z}{q_0} \right) \Big|_0^{\infty} \right) = \frac{p_0 - q_0}{p_0 - q_0} = 1. \quad (4.24)$$

Математичне сподівання для даного закону розподілу матиме вигляд:

$$M(z) = p_0 + q_0, \quad (4.25)$$

а дисперсія:

$$D(z) = \frac{2p_0^2 - 2q_0^2}{p_0 - q_0} = 2(p_0 + q_0). \quad (4.26)$$

Як інтегральну оцінку сумарних витрат доцільно вибрати найбільш ймовірне значення $z_{\text{нв}}$ (вираз (4.23)). Графічно, найімовірніше значення $z_{\text{нв}}$, наведемо на кривій (рис. 4.4).

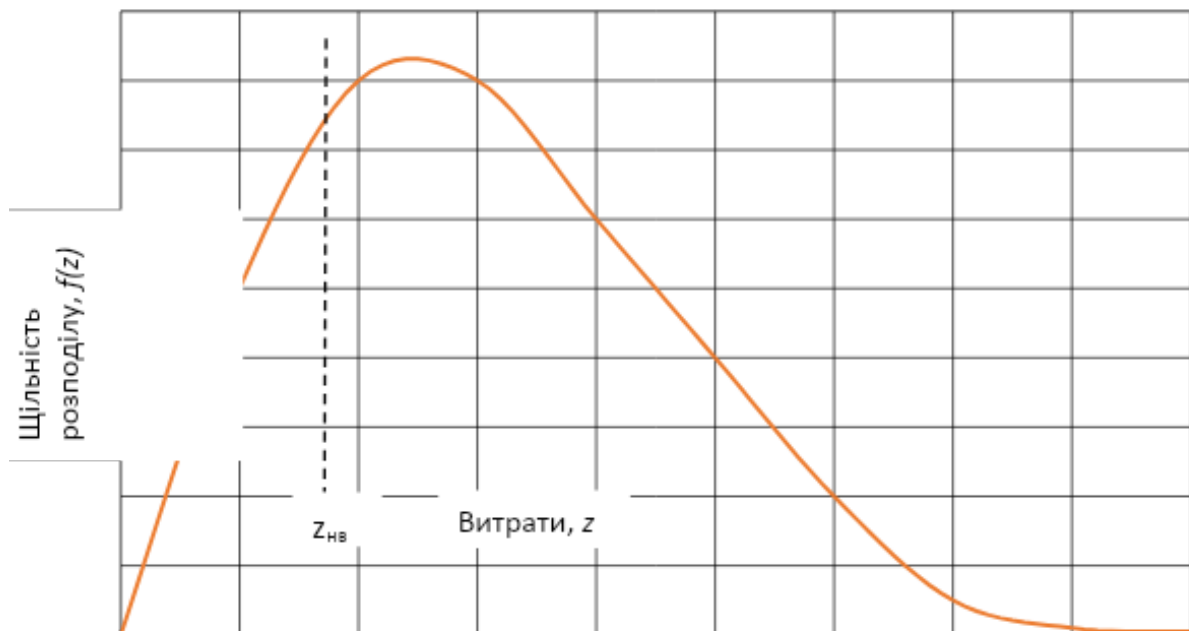


Рисунок 4.4. Щільність розподілу витрат окремого підрозділу вагонного господарства і найбільш ймовірне значення $z_{\text{нв}}$

При використанні методу діагностування за віброакустичними діагностичними параметрами на Придніпровській залізниці при проведенні технічного обслуговування та ремонту буксових вузлів вантажних вагонів у процесі їх експлуатації можна визначити період безпечної експлуатації та прогнозувати відповідні економічні показники, що характеризують експлуатаційні та ремонтні витрати. Тобто на основі показника ризику відмов буксових вузлів вантажних вагонів можна керувати безпекою руху, знижувати можливість виникнення небезпечних ситуацій на залізничному транспорті та контролювати якість усього перевізного процесу. Скорочення витрат при зниженні кількості транспортних подій на залізничному транспорті через відмови буксових вузлів вантажних вагонів для деяких варіантів наведено на рисунку 4.5. Рисунок 4.5 побудовано на основі даних таблиці 4.1.

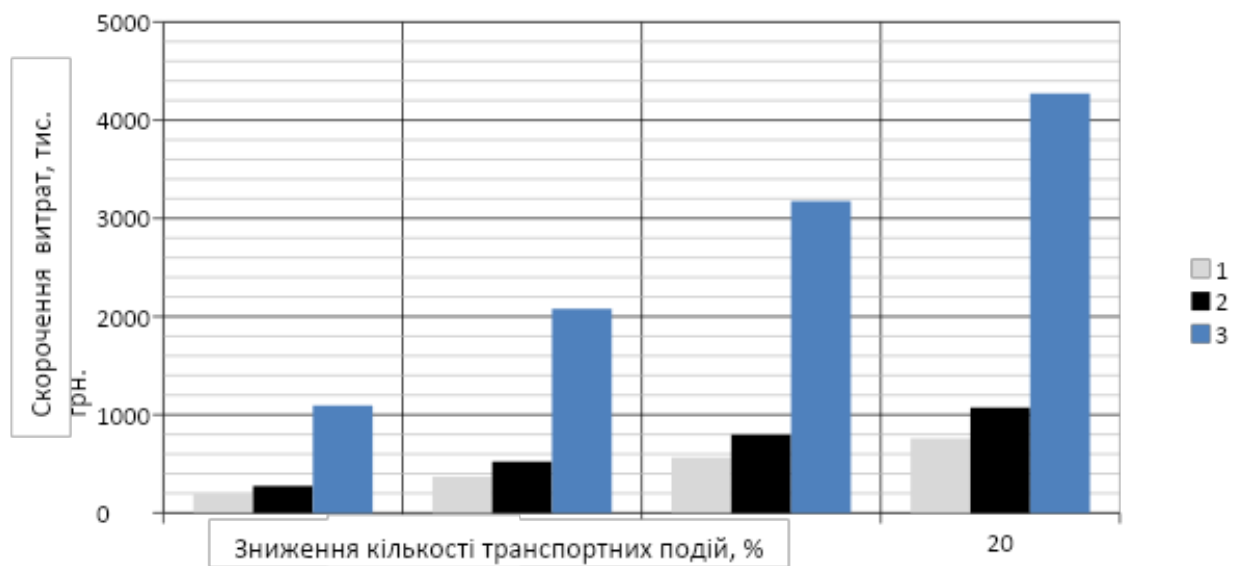


Рисунок 4.5. Скорочення витрат при зниженні кількості транспортних подій на залізничному транспорті: 1 – на експлуатацію вагонів; 2 – на ремонт вагонів; 3 – на інфраструктуру залізниці

На основі розробленого методу визначення ризиків з використанням знань про зв'язок ознак несправностей (діагностика) буксових вузлів вантажних вагонів і самої несправності відповідного буксового вузла, що

формується за даними ремонтних і експлуатаційних вагонних депо, можна прогнозувати показники ризику відмов за технічним станом після проведення технічного обслуговування чи ремонту для запобігання транспортних подій. Тим самим, можна спрогнозувати економічний ефект від застосування діагностики буксових вузлів вантажних вагонів у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці при їх відповідному пробігу, що досягається за рахунок більш якісних технічних дій у системі технічного обслуговування та ремонту, а результати відобразити у вигляді діаграми (рисунок 4.6).

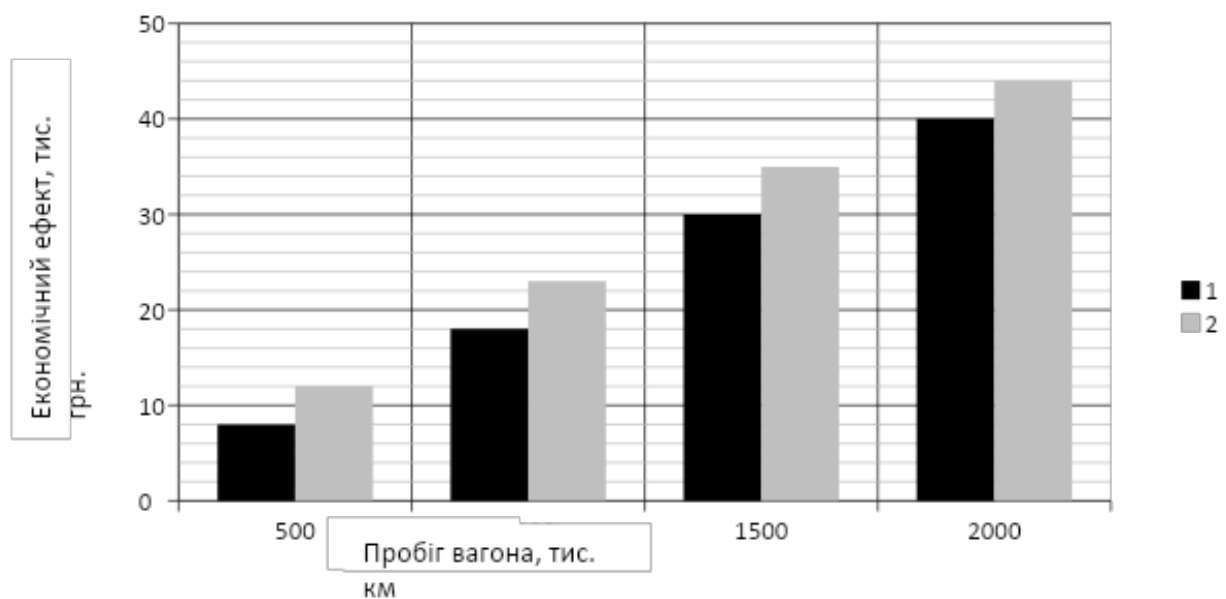


Рисунок 4.6. Економічний ефект при відповідному пробігу вантажного вагона у випадку впровадження віброакустичної діагностики буксових вузлів під час проведення: 1 – технічного обслуговування; 2 – ремонту

Наведені результати вказують, що економічний ефект у випадку впровадження віброакустичної діагностики буксових вузлів під час проведення технічного обслуговування складає від 13 до 40 тис. грн., при ремонті – від 13 до 44 тис. грн. для відповідного експлуатаційного пробігу вантажного вагона.

4.3 Висновки до розділу 4

Результати експериментальних досліджень ризиків на залізничному транспорті при діагностуванні буксового вузла вантажних вагонів за вібраційними характеристиками показали, що зниження ризику, що призводить до транспортної події, відбувається в 2,5 рази.

При використанні методу діагностування за віброакустичними діагностичними параметрами у ВЧДР Батуринська Придніпровської залізниці при проведенні технічного обслуговування та ремонту, кількість відмов буксових вузлів вантажних вагонів знизилась і становила 4 випадки.

Порівняння теоретичних і експериментальних значень відмов буксових вузлів вантажних вагонів при експлуатації зі звичайною технологією ТО і ремонту і з застосуванням вібродіагностики мають відхилення в значеннях не більше 8%. Це свідчить про адекватність розробленої математичної моделі.

Практична цінність розробленого методу визначення ризиків, що виникають при відмовах буксових вузлів вантажних вагонів, полягає в можливості оцінки безпеки руху залізничного транспорту.

При використанні вібраційної діагностики при технічному обслуговуванні та ремонті буксових вузлів вантажних вагонів отримано зниження ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів в 1,1...3,7 рази.

Як інтегральну оцінку сумарних витрат роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів запропоновано вибирати найбільш ймовірне значення $z_{\text{нв}}$. При цьому облік тимчасових витрат для окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів істотно перерозподіляє їх розподіл.

Установлено, що економічний ефект при впровадженні віброакустичної діагностики буксових вузлів під час проведення технічного обслуговування складає від 13 до 40 тис. грн., при ремонті – від 13 до 44 тис. грн. для відповідного експлуатаційного пробігу вантажного вагона.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна проблема зі зниження ризиків на залізничному транспорті при застосуванні методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів. Загалом по роботі можна зробити наступні висновки.

У процесі дослідження стану питання встановлено, що в умовах зростання вантажних перевезень на залізничному транспорті залишається актуальним стан оцінки безпеки руху. Успішне вирішення задачі забезпечення необхідного рівня безпеки руху на залізниці полягає у підтримці належного технічного стану і надійності, в першу чергу, вагонного парку, оскільки українські залізниці, найбільше за все, виконують перевезення вантажів. У свою чергу, безпека руху, при цьому, може бути оцінена ризиками можливих відмов вантажних вагонів після виконання технічного обслуговування та ремонту. Інформація про відмови елементів вантажних вагонів, що виникають в процесі експлуатації, являє собою деякий набір статистичних даних, використовуючи які може бути наданий аналіз цих відмов. Оскільки відома статистична інформація про відмови елементів вантажних вагонів, то можна стверджувати, що найбільша частка кількості відмов припадає на буксові вузли. В свою чергу, аналізуючи відмови буксових вузлів вантажних вагонів можна встановити, що майже всі вони пов'язані з неякісно-проведеним ремонтом і технічним обслуговуванням, на процес якого істотно впливає недодержання технології виконання, в т.ч. і людський фактор. Для зниження ризиків, що допускаються при ремонті і технічному обслуговуванні вантажних вагонів необхідним є застосування методів діагностування буксових вузлів і подальшим розрахунком ризиків для оцінки безпеки руху на залізничному транспорті.

У другому розділі були обрані методи, визначено об'єкт і предмет дослідження, а також зроблена оцінка безпеки руху при відмовах буксових вузлів вантажних вагонів. При цьому розроблено метод опису ризиків відмов

буксових вузлів вантажних вагонів, що включає розподілення успішного виконання комплексного завдання з технічного обслуговування і ремонту і ймовірність допущеної технологічної помилки, що дозволяє обрати і оцінити методи і засоби діагностики. Теоретично встановлено, що застосування вібраційної діагностики під час технічного обслуговування і ремонту може дозволити знизити величину ризиків у 2...4,5 рази при успішному виконанні поставленого завдання.

У результаті виконаних теоретичних досліджень вперше розроблено математичну модель ризиків на залізничному транспорті, що формується при виконанні технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів, яка дозволяє надати оцінку безпеці руху при здійсненні вантажних перевезень та визначити подальші заходи щодо зниження ризиків. Виконана оцінка рівня індивідуальних підходів і загальних інтересів окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів в умовах невизначеності показала варіанти граничних можливостей окремого підрозділу залізниці, при цьому встановлено, що при рівноважному розподілі екстремальні значення дорівнюють $x_{ext} = \frac{x_{max}}{2}$, $y_{ext} = \frac{y_{max}}{2}$; для випадку домінування технічних обслуговувань буксового вузла вантажних вагонів $x_{ext} = 0,58x_{max}$, $y_{ext} = 0,66y_{max}$, а для випадку домінування ремонтів буксового вузла вантажних вагонів $x_{ext} = 0,33x_{max}$, $y_{ext} = 0,44y_{max}$. Також удосконалено математичну модель оцінки ефективності роботи окремого підрозділу залізниці при виконанні технічного обслуговування та ремонту буксового вузла вантажних вагонів, яка включає обмежені показники ресурсів, що включає коефіцієнти ефективності і витратності, за допомогою яких можна визначити раціональний розподіл виконання технічного обслуговування та ремонту та підвищити ефективність роботи окремого підрозділу залізниці. Крім того, розроблено математичну модель ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів, яка включає діагностичні параметри в процесі виконання технічного обслуговування,

ремонту та технічного контролю буксового вузла, що дозволяє визначити найкращий метод їх діагностування та встановити, при цьому, рівень ризиків.

Виконані експериментальні дослідження ризиків на залізничному транспорті підтвердили обґрунтованість застосування діагностики буксового вузла вантажних вагонів. При цьому, зниження ризику, що призводить до транспортної події, складає 2,5 рази. При використанні методу діагностування за віброакустичними діагностичними параметрами у ВЧДР та ВЧДЕ на Придніпровській залізниці при проведенні технічного обслуговування та ремонту, кількість відмов буксових вузлів вантажних вагонів знизилась і становила 4 випадки. Порівняння теоретичних і експериментальних значень відмов буксових вузлів вантажних вагонів при експлуатації зі звичайною технологією ТО і ремонту і з застосуванням вібродіагностики мають відхилення в значеннях не більше 8%. Це свідчить про адекватність розробленої математичної моделі. Практична цінність розробленого методу визначення ризиків, що виникають при відмовах буксових вузлів вантажних вагонів, полягає в можливості оцінки безпеки руху залізничного транспорту. При використанні вібраційної діагностики при технічному обслуговуванні та ремонті буксових вузлів вантажних вагонів отримано зниження ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів в 1,1...3,7 рази. При розрахунку економічного ефекту при впровадженні віброакустичної діагностики буксових вузлів під час проведення технічного обслуговування встановлено, що він складає від 13 до 40 тис. грн., при ремонті – від 13 до 44 тис. грн. для відповідного експлуатаційного пробігу вантажного вагона. Практичне значення отриманих результатів в дисертаційній роботі, а також розроблена методика та моделі можуть бути використані для зниження ризиків на залізничному транспорті, а також для випадку застосування методів діагностики буксових вузлів вантажних вагонів для оцінки, прогнозування та підвищення безпеки руху на залізничному транспорті.

Практична цінність розробленого методу визначення ризиків відмов буксових вузлів вантажних вагонів полягає в можливості оцінки безпеки руху залізничного транспорту, як імовірності (у відносних одиницях), так і збитків (добуток імовірності на збиток (у гривнях)).

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Myamlin S, Muradian L, Shykunov O, Pitsenko I Вплив технічного обслуговування й ремонту буксових вузлів на ризики їх відмов - Science and Transport Progress, 2022
2. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V, Shvets A Predictive model of risks in railroad transport when diagnosing axle boxes of freight wagons - Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 2023
3. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Mathematical model of risks in railway transport during diagnostics of axle boxes of freight cars - НАУКА ТА ПРОГРЕС ТРАНСПОРТУ 2016
4. Muradian L, Pitsenko I MODEL OF THE RISK OF FAILURE OF AXLE BOXES OF FREIGHT CARS - Innovative technologies in science and education, 2021
5. Myamlin S, Muradian L, Pitsenko I Influence of Diagnostics of Axle Boxes of Freight Cars on Traffic Safety of the Railway Transport - IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021
6. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Математична модель визначення ризиків на залізничному транспорті під час діагностики буксових вузлів вантажних вагонів - Science and Transport Progress 2021
7. Pitsenko I Застосування вібродіагностики буксових вузлів вантажних вагонів для зниження ризиків відмов - ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ №206 2023
8. Мурадян Л, А., Шапошник В. Ю., Подосьонов Д.О., Піценко І.В. Дослідження несправностей пасажирських вагонів - Редакція Міжнародного електронного науково-практичного журналу «WayScience» 2019
9. Піценко І.В. Дослідження експлуатаційних властивостей суцільнокатаних коліс. Проблеми та перспективи розвитку науки і

- техніки [Текст]: тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрантів та студентів / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – 120 с.
10. Піщенко І.В. Перспективи застосування литих коліс на залізницях України. Науково-технічний прогрес на транспорті [Текст]: Тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрантів та студентів. Секція «Механіка» / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна – Дніпро, 2017. – 101 с.
11. Мурадян Л.А., Шапошник В.Ю., Піщенко І.В. Перспективы применения литых колес на железных дорогах Украины Вагонный парк № 9-10 (114-115) – 2016. – 38 с.
12. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Перспективы эксплуатации литых колес на железных дорогах Украины ООО «Подвижной состав», Харьков – 2016
13. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Исследование эксплуатационных свойств цельнокатаных колес вагонов Сучасний рух науки: IX Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф – 2019
14. Muradian L, Pitsenko I, Shaposhnyk V Патент на корисну модель: Шаблон для виміру дефектів залізничних коліс. u 2017 07770. – 2018
15. Muradian L, Pitsenko I ОЦІНКА РЕСУРСУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС - ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ – 2019
16. Muradian L, Pitsenko I ДОСЛІДЖЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА, ЗА РАХУНОК ЗМІНИ ФОРМИ ДИСКУ - Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 80 Міжнародної науково-практичної конференції - 2020
17. Акимов, В. А. Надежность технических систем и техногенный риск / В. А. Акимов. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс». – 2002. – 368 с.

18. Аналіз господарської діяльності: теорія, методика, розбір конкретних ситуацій [Текст] / за ред. К.Ф. Ковальчука та ін. – Київ: ЦУЛ, 2012 . – 325 с.
19. Бакаєв Л. О., Карась О.О. Управління ризиками на залізничному транспорті. Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте – ЭКУЖТ 2014: Материалы IX Международной научно-практической конференции. – К.: ГЭТУТ, 2014. – с. 287.
20. Бараш Ю. С. Основні моделі реформування залізничного транспорту в Європі / Ю. С. Бараш, Т. Ю. Чаркіна // Вісн. економіки транспорту і промисловості : зб. наук. пр. УкрДАЗТ. – 2014. – № 42. – С. 263-270.
21. Березуцький В.В. , Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека»/В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. – 385 с.
22. Бобровський, В.І. Базова модель колійного розвитку в імітаційних моделях залізничних станцій/ В. І. Бобровський, Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора //Зб. наук. праць УкрДАЗТ: Серія „Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України”, Вип. 62. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – с. 20-25.
23. Болжеларський Я. В. Проблемні питання безпеки руху у міжнародних вантажних залізничних перевезеннях. Транспортні системи і технології перевезень. Збірник наукових праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2019. № 18. С. 5–15. DOI: 10.15802/TSTT2019/182576.
24. Борзилов І. Д., Калуга Г.А. Впровадження сучасних засобів технічного діагностування буксових вузлів рухомого складу залізниць / Вісник Національного технічного університету "ХПІ". 36 Серія: Машинознавство та САПР, №25 (1301) 2018. – С. 36-39.

- 25.Борзилов І.Д. Удосконалення технології технічного обслуговування та ремонту вагонів засобами технічної діагностики: Навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2003. Ч. 1. 91 с.
- 26.Босов А. А. Методика попередньої оцінки варіантів структурної реформи залізничного транспорту України / А. А. Босов, Ю. С. Бараш, Н. А. Мухіна // Залізничний транспорт України. – 2006. – № 1. – С. 14–19.
- 27.Брабанд, Й. Коллективный риск, индивидуальный риск и их зависимость от времени / Й. Брабанд, Х. Шебе // Надежность. –2011. – №4. – С. 69-77.
- 28.Брусенцов, В. Г. Надежность железнодорожных операторов как фактор безопасности движения [Текст] / В. Г. Брусенцов, М. И. Ворожбян, А. В. Гончаров // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – № 2. – С. 68-72.
- 29.Буканов М.А. Безопасность движения поездов (в условиях нарушения нормальной работы устройств СЦБ и связи) / М.А. Буканов – М.: Транспорт, 1990.-112с.
- 30.Важинський С.Е., Щербак Т І. Методика та організація наукових досліджень : Навч. посіб. / С. Е. Важинський, Т І. Щербак. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 260 с.
- 31.Васильев И.И. Зависимость коммерческой скорости движения поездов от технических элементов и работы железнодорожных участков. - Петроград: Типолитография Петроградского Округа Путей Сообщения, 1918.-62 с.
- 32.Вернигора, Р.В. Моделирование работы систем станционной автоматики в эргатических имитационных моделях железнодорожных станций / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый, В. В. Малашкин // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія «Транспортні системи і технології перевезень», Вип. 2. – Д.: ДНУЗТ, 2011. – с. 31-37.

- 33.Відомості про відкриття кримінальних проваджень щодо закупівлі неякісної продукції ПАТ «Українська залізниця» 2016-2017 роки[Електронний ресурс]: Служба безпеки України– Режим доступу – <http://www.ssu.gov.ua>.– Назва з екрана. – Перевірено: 11.07.2019.
- 34.Возняк О. М. Оцінка стану безпеки руху на залізничних переїздах. Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. 2015. № 10. С. 69-76. DOI: 10.15802/ecstr2015/73859.
- 35.Возняк, О. М. Методи, заходи та засоби підвищення безпеки руху на залізничних переїздах / О. М. Возняк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2015. – №9. – С. 65-75.
- 36.Годович Л.М., Безопасность движения поездов: (В условиях реконструкции станции). / Л.М. Годович, В.К. Тюрин–М.: Транспорт, 1988. –136 с.
- 37.Гудкова В.П., Тютюн Ю.О. Структурно-функціональний аналіз державного регулювання розвитку залізничного транспорту. Залізничний транспорт. Серія «Економіка і управління». 2015. Вип. 33. С. 70–77.
- 38.Давыдова, Ю.В. Методология оценки экономической безопасности региона/ Ю.В.Давыдова //Московский экономический журнал. 2017. № 3. С. 58.
- 39.Дем'янченко, А. Г. Організаційно-економічні заходи підвищення ефективності діяльності державних стивідорів в морських портах України / А. Г. Дем'янченко, О. П. Коваль // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті : зб. наук. пр. / Одес. нац. мор. ун-т. – Одеса, 2015. – Вип. 3 (52). – С. 41–58.
- 40.Дегтяр А.О. Державне регулювання залізничного транспорту як природної монополії / А.О. Дегтяр // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» // Державне управління. 2017. № 2 (24). 1 т.
- 41.Дикань В.Л. Удосконалення механізмів державного управління розвитком залізничної галузі України у євроінтеграційному просторі /

- В.Л. Дикань, Г.Є. Островерх // Вісник економіки транспорту і промисловості : збірник наукових праць. 2018. № 62. С. 11–19.
42. Дикань В.Л., Данько І., Кондратюк М.В. Удосконалення організаційної структури залізничного комплексу України в сучасних умовах: монографія. Харків : УкрДАЗТ, 2010. 190 с.
43. Директива 2004/49/ЄС Європейського Парламенту та Ради «Про безпеку залізниць у Співтоваристві, яка вносить зміни до Директиви Ради 95/18/ЄС про ліцензування підприємств залізничного транспорту та до Директиви 2001/14/ЄС про розподіл потужностей залізничних інфраструктур та стягнення платежів за використання залізничної інфраструктури та про сертифікацію безпеки» від 29 квітня 2004 року. Електронний ресурс Режим доступу https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_953#Text.
44. Документація процедури закупівлі ПАТ «Укргазвидобування»: «70.22.1 – Послуги консультаційні щодо керування підприємствами (Технічний аудит та технічна підтримка ПАТ «Укргазвидобування»)» затв. протоколом засідання комітету з конкурсних торгів від 27 серпня 2015 р. № 15П-055-з, [Електронний ресурс], Режим доступу – <http://ugv.com.ua/wp-content/uploads>
45. Економічний аналіз і діагностика стану сучасного підприємства [Текст] / Т. Д. Костенко, Є. О. Підгора, В. С. Рижиков, В. А. Панков. – 2-ге вид., перероб. та доп. – Київ: ЦУЛ, 2007. – 398 с.
46. Журавель К.В. Сутність та класифікація ризиків при транспортному обслуговуванні на залізничному транспорті. Вісник національного університету «Львівська політехніка» Проблеми економіки та управління, № 628, 2008, с. 95-101.
47. Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава: Програма економічних реформ на 2010–2014 рр. від 02.06.2010 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу :

- <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/file/docs/5/d325760.pdf>. – Назва з екрана. –
Перевірено: 1.06.2019.
- 48.Замышляев, А. М. Метод управления надежностью и функциональной безопасностью объектов железнодорожного транспорта на основе оценки рисков / А. М. Замышляев, А. О. Ермаков, Е. О. Новожилов // Надежность №4. – 2012. – С. 149-157.
- 49.Замышляев, А. М. Построение и использование матриц рисков в системе управления рисками на железнодорожном транспорте / А. М. Замышляев, В. А. Гапанович, И. Б. Шубинский // Надежность №4. – 2011. – С. 56-68.
- 50.Замышляев, А. М. Система управления рисками / А. М. Замышляев // Мир транспорта. – 2011. – №5. – С. 24-32.
- 51.Замышляев, А. М. Экономические критерии принятия решений о замене основных средств на основе методологии УРРАН / А. М. Замышляев, М. Ю. Рачковский, М. С. Никифорова // Экономика железных дорог №12. – 2012. – С. 11-22.
- 52.Илларионов А. Н. Критерии экономической безопасности // Вопросы экономики. 2014. № 10. - С. 35-58.
- 53.Каличева Н.Є. Напрями реалізації потенціалу підприємств залізничного транспорту в сучасних умовах / Н.Є. Каличева // Стійкий розвиток в умовах соціально-орієнтованої економіки: Колективна монографія за ред. Прохорової В.В. – Харків: «Смугаста типографія», 2016. – 365 с. (195- 201 с.)
- 54.Карась О. Класифікація ризиків залізничного транспорту. Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Економіка і управління», 2014, № 29, с. 95-103.
- 55.Кацман М.Д. Методологічні основи організації управління екологічною безпекою при ліквідації наслідків аварійних ситуацій на залізничному транспорті: дис. ... д-ра техн. наук: 21.06.01. Київ, 2018. – 420 с.

56. Кіндрацька Г.І. Економічний аналіз. Теорія і практика [Текст] / Г.І. Кіндрацька, М.С. Білик, А.Г. Загородній. – Львів: Магнолія-2006, 2008. – 439 с.
57. Клок, Є. М. Удосконалення інтермодальних перевезень в умовах узгодженої роботи залізничного та морського транспорту / Є. М. Клок // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – 2017. – № 169. – С. 82-87.
58. Коноваленко Ю. Джерела та фактори транспортного ризику при здійсненні вантажних перевезень автомобільним транспортом / Ю. Коноваленко // Галицький економічний вісник. 2013. №2 (41). С. 10-20.
59. Корнійчук М. Ризик і надійність. Економіко-стохастичні методи й алгоритми побудови та оптимізації систем : монографія / М. Корнійчук, І. Совтус. – К. : КНЕУ, 2000. – 212 с.
60. Костерев, В. В. Надежность технических систем и управление риском: учебное пособие / В. В. Костерев. – М.: МИФИ. – 2008 – 280 с.
61. Коськовецький, В.М. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства та аварійності на транспорті в Україні за 2015 рік / В.М. Коськовецький, Д.І. Міков, О.В. Тищенко., І.А. Сулицька, Д.Є. Саламатнікова / Київ. – 2016. – 150 с.
62. Коцібан, Ю. О. Удосконалення технології роботи прикордонної передавальної станції в умовах різної ширини колії / Ю. О. Коцібан // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2014. – № 146. – С. 55-60.
63. Кривенко О. Б. Прогнозирование и оценка риска : учеб. пособие / О. Б. Кривенко, Г. В. Мигаль, В. В. Гайдукова. – Харьков : НАУ «ХАИ», 2003. – 44 с.
64. Кужель А.Л., Осьминин А.Т., Осьминин Л.А. Железнодорожный транспорт №3, 2012. – С. 6-13.
65. Кузишин А. Я., Батіг А. В. Аналіз існуючих підходів щодо розрахунку критеріїв безпеки руху на залізничному транспорті. Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2018. Vol 4 (6). P. 50–56. DOI: 10.30837/2522-9818.2018.6.050.

- 66.Лисенков В.М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов / В.М. Лисенков – М.: Транспорт, 1992 – 192 с.
- 67.Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 330 с.
- 68.Лужицкий О. Ф. Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах. Українська залізниця. 2016. № 7. С. 52-56.
- 69.Макаренко, Л. М. Вплив людського чинника на безпеку руху залізничного транспорту [Текст] / Л. М. Макаренко // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 1. – С. 46-51.
- 70.Макаренко, М. В. Системний підхід до реформування залізничного транспорту України / М. В. Макаренко, Ю. М. Цвєтов // Проблемы экономики и упр. на ж.-д. трансп. : материалы IIМеждународной научн.-практической конф. – Киев : КУЭТТ, 2007. – С. 5–18.
- 71.Мартинов, І.Е. Вібродіагностування підшипників кочення рухомого складу методом обвідної [Текст] / І.Е. Мартинов, В.Г. Равлюк // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 23. – С. 127-134.
- 72.Мартынов, И. Э. Оценка виброакустики буксовых узлов [Текст]: сб. науч. тр. / И. Э. Мартынов, В. Г. Равлюк, С. В. Михалкив. – Москва, Мир Транспорта. – 2013. – Вип. 3. – С. 52–57.
- 73.Методика оценки показателей процессов, влияющих на безопасность движения на основе оценки рисков [Електронний ресурс], Режим доступу – <http://oac.rgotups.ru/misc/files/39.4.5.pdf>
- 74.Методика проведения технического аудита безопасности движения в структурных подразделениях ОАО «РЖД» утверждена распоряжением ОАО "РЖД" от 21 сентября 2011 г. N2068р.

- 75.Мурадян Л.А. Побудова системи дослідження надійності вантажних вагонів - Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті, 2015
- 76.Мурадян Л.А. Відмови та безвідмовність вагонів як складові експлуатаційної надійності - НТУ" ХП", 2015
- 77.О. М., Гаврилюк В. І. Забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах: монографія. Дніпро: ДНУЗТ. 2019. 282 с. ISBN 978-966-8471-89-6.
- 78.Остапюк, Б. Я. Удосконалення конструкції розсувних колісних пар / Б. Я. Остапюк, О. М. Пшінько, С. В. Мямлін, О. М. Савчук // Залізничний транспорт України. – 2014. – №5 (108). – С. 31-35.
- 79.Панченко О. І. Класифікація ризиків на залізничному транспорті як основа формування системи економічної безпеки його функціонування. Збірник наук. пр. ДЕТУТ. Серія “Економіка та управління”. Київ: ДЕТУТ, 2012. № 19. С. 84–92.
- 80.Петренко Е. А. Реформирование железнодорожного транспорта Украины : теория, проблемы, пути решения : монография / Е. А. Петренко; НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти. – Донецк, 2011. – 358 с.
- 81.Пилипенко, С.В. Технічний аудит – об’єктивна оцінка технічних можливостей виробника / С.В. Пилипенко, Е.С. Краснокутський // Залізничний транспорт України. – 2016. – № 3-4 (118-119). – С. 93-96.
- 82.Підсумки перевірок суб’єктів господарювання у сфері залізничного транспорту щодо дотримання ними вимог законодавства, норм і стандартів у 2016 році [Електронний ресурс]: Аналітична інформація – Режим доступу – <http://dsbt.gov.ua/storinka/derzhavnyy-kontrol-na-zaliznychnomu-transporti>.– Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
- 83.Піх, Б. П. Надійність людського чинника як основа безпеки руху [Текст] / Б.П. Піх, В. П. Думський // Медицина залізничного транспорту України. – 2004. – № 3. – С 60-61.

- 84.Погорєлов І. М. Методика проведення технологічного аудиту інноваційної діяльності / І. М. Погорєлов, М. І. Погорєлов // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Економічні науки. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – № 47 (1219). – С. 54-63.
- 85.Поддубняк В.Й., Борзилов И.Д., Петухов В.М. Технология диагностики букс на ходу поезда с использованием радиодатчиков. Зб. наук. праць. Донецьк: ДонІЗТ, 2006. Вип.№7. С. 58-61.
- 86.Пономаренко, О. В. Перспективи поліпшення технічного стану вагонного парку на залізницях України / О. В. Пономаренко // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 1 (67). – С. 88-95.
- 87.Почечун, О. І. Проблеми класифікації ризиків транспортного обслуговування пасажирів / О. І. Почечун, В. В. Железняк // Економіка. Фінанси. Право. – 2014. – №6 (червень). – С. 13–15.], проте, підходи до класифікації застосовані аналогічні.
- 88.Про аудит фінансової звітності та аудиторську діяльність [Електронний ресурс]: Закон України від 21.12.2017 № 2258-VIII. – Режим доступу – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2258-19>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
- 89.Про внесення змін до Закону України «Про автомобільні дороги» щодо аудиту безпеки автомобільних доріг. № 7320 від 17.11.2017 доступ http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=62933
- 90.Про залізничний транспорт [Електронний ресурс]: Закон України від 04.07.1996 №273/96-ВР. – Режим доступу – <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/card/273/96-вр>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
- 91.Про залізничний транспорт України [Електронний ресурс]: Проект Закону від 05.05.2016 р. № 4593. – Режим доступу – http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=58982. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.

92. Про залізничний транспорт України [Електронний ресурс]: Проект Закону від 06.09.2019р. № 1196-1. – Режим доступу – https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=66737. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.12.2019.
93. Про затвердження Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 р. № 1390 – Режим доступу – <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-п>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
94. Про затвердження плану заходів щодо виконання у 2008 році Загальнодержавної програми адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.06.2008 р. № 821-р. – Режим доступу – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/821-2008-р>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
95. Про затвердження плану заходів щодо виконання у 2009 році Загальнодержавної програми адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.04.2009 р. № 408-р. – Режим доступу – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/408-2009-р>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
96. Про затвердження Положення про класифікацію транспортних подій на залізницях України [Електронний ресурс]: Наказ Міністерства інфраструктури України від 12.01.2012 № 12 – Режим доступу – <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0117-12>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
97. Про затвердження Положення про класифікацію транспортних подій на залізничному транспорті, Наказ Міністерства інфраструктури України від 03.07.2017 № 235 [Електронний ресурс] // Офіційний веб-портал

- Верховної Ради України. – 2017. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0904-17/page>.
98. Про затвердження Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України [Електронний ресурс]: Наказ Міністерства інфраструктури України від 01.04.2011 № 27 – Режим доступу – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0729-11>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
99. Про затвердження Технічного регламенту безпеки інфраструктури залізничного транспорту [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 11.07.2013 р. № 494 [станом на 21.07.2016]. – Режим доступу – <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/494-2013-п>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
100. Про затвердження Технічного регламенту безпеки рухомого складу залізничного транспорту [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 30.12.2015 р. № 1194. – Режим доступу – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1194-2015-п>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
101. Про затвердження Тимчасового положення про порядок допуску приватних локомотивів до роботи окремими маршрутами на залізничних коліях загального користування. Наказ Мінінфраструктури від 04.03.2020 № 191, зареєстрований в Мін'юсті 16 березня 2020 р. за № 278/34561.
102. Про особливості створення державного акціонерного товариства залізничного транспорту загального користування [Електронний ресурс]: Закон України від 23.02.2012 р. № 4442-VI [станом на 06.01.2018]. – Режим доступу – <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/4442-17>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.

103. Про реалізацію експериментального проекту щодо допуску приватних локомотивів до роботи окремими маршрутами на залізничних коліях загального користування. Постанова Кабінету Міністрів України від 04.12.2019 № 1043.
104. Про схвалення Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.12.2006 р. N 651-р. – Режим доступу – <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/651-2006-p>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
105. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року [Електронний ресурс]: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р. – Режим доступу – <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
106. Про технічні регламенти та оцінку відповідності [Електронний ресурс]: Закон України від 15.01.2015 № 124-VIII. – Режим доступу – <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/124-19>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
107. Про тимчасові особливості здійснення заходів державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності. [Електронний ресурс]: Закон України від 03.11.2016 № 1728-VIII. – Режим доступу – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1728-19/paran7/sp:max10>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.
108. Про утворення Комісії Міністерства інфраструктури України з відбору учасників експериментального проекту щодо допуску приватних локомотивів до роботи окремими маршрутами на залізничних коліях загального користування та діляниць залізничних колій загального користування для здійснення курсування приватних локомотивів, а також для моніторингу реалізації експериментального проекту. Наказ Мінінфраструктури від 14.04.2020 № 233.

109. Про утворення публічного акціонерного товариства «Українська залізниця»[Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 25.06.2014 р. № 200 [станом на 11.08.2015]. – Режим доступу – <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/200-2014-п>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
110. Проблемы социально-экономического развития Сибири. Н.Н. Александрова и др. Интегральная оценка угроз социально-экономической безопасности жилищно-коммунального хозяйства Тюменской области. – 2019 № 4 с. 9-14.
111. Програма проведення технічного аудиту ТОВ «Придніпровський центр технічного аудиту» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pridniproviskiy-centr-tehnichnogo-audit.business-guide.com.ua>. – Назва з екрана. – Перевірено : 26.09.2017.
112. Публічний звіт Голови Державної служби України з безпеки на транспорті Михайла Ноняка за 2017 рік[Електронний ресурс]: Режим доступу – <http://dsbt.gov.ua/storinka/publicznyy-zvit-golovy-derzhavnoyi-sluzhby-ukrayiny-z-bezpeky-na-transporti-myhayla-0>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2020.
113. Публічний звіт Голови Державної служби України з безпеки на транспорті Михайла Ноняка за 2018 рік[Електронний ресурс]: Режим доступу – <http://dsbt.gov.ua/storinka/publicznyy-zvit-golovy-derzhavnoyi-sluzhby-ukrayiny-z-bezpeky-na-transporti-myhayla-1>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2020.
114. Публічний звіт Голови Державної служби України з безпеки на транспорті Михайла Ноняка по основних показниках діяльності Державної служби України з безпеки на транспорті за 2016 рік[Електронний ресурс]: Режим доступу – <http://dsbt.gov.ua/storinka/publicznyy-zvit-golovy-derzhavnoyi-sluzhby-ukrayiny-z-bezpeky-na-transporti-myhayla-nonyaka>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2020.

115. РАВЛЮК В. Г. (2020). Визначення технічного стану буксових підшипників рухомого складу шляхом вібродіагностування / Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2/7 (74), 2015. – С. 11-15.
116. Равлюк В. Г. Напрям досліджень з вібродіагностування ходової частини рухомого складу. Зб. наук. праць. Харків: НТУ "ХП", 2008. Вип. 46. С. 112–117.
117. Рассоха І. М. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень» для студентів 5 курсу денної форми навчання освітнього-кваліфікаційного рівня «магістр» спеціальностей 8.050106, 8.03050901 “Облік і аудит”, 8.050201 “Менеджмент організацій ”, 8.03060101 “Менеджмент організацій і адміністрування (за видами економічної діяльності)” / І. М. Рассоха; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 76 с.
118. Рачинська А. В. Класифікація ризиків на залізничному транспорті як основа формування системи економічної безпеки його функціонування /А. В. Рачинська // Економіка і суспільство. – 2016. – № 6. – С. 81-87.
119. Рачинська, А. Оновлення рухомого складу – стратегічне завдання розвитку залізничного транспорту / А. Рачинська // Економіст. – 2016. – №8. – С. 41-44.
120. Регламент (ЄС) 2016/796 Європейського Парламенту та Ради від 11 травня 2016 року. Офіційний журнал Європейського Союзу №138/11. 26.5.2016. Електронний ресурс Режим доступу <http://doszt.gov.ua/content/media/Reglament-796-UA.pdf>.
121. Рейтинг логістичної ефективності Світового банку – Logistics Performance Index [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://lpi.worldbank.org>. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
122. Ризики у транспортних процесах : навч. посібник / І. О. Ткаченко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 114 с.

123. Розсоха, О.В. Аналіз і особливості існуючих наукових підходів щодо визначення рівня безпеки руху [Текст] / О.В. Розсоха, Ю.В. Смачило // Збірник наукових праць ДЕТУТ. – Київ: ДЕТУТ, 2016. – Вип. 28. – С. 202–214.
124. Розсоха, О.В. Аналіз функціонування систем управління безпекою руху поїздів на залізницях країн Євросоюзу [Текст] / О.В. Розсоха, Ю.В. Смачило // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків : УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 151. – С. 4–11.
125. Рябушенко О. В. Аналіз методів оцінки ризиків дорожньо-транспортних пригод / О. В. Рябушенко // Харків : НТУ «ХПІ». - 2013. Вип. № 38(1011). С. 21-27.
126. Самсонкін В.М Безпека руху поїздів на залізничному транспорті. Ч.2: навч. посібник / М. Самсонкін, Т.О. Шалаєва, О.А. Абакумов та ін. - К.: КУЕТТ, 2005. – 109 с.
127. Самсонкін В.М. Безпека руху поїздів на залізничному транспорті. Ч.1: навч. посібник / В. М. Самсонкін, А.Б. Бойнік, О.Й. Соколов. К.: КУ- ЕТТ, 2005. – 181 с.
128. **Самсонкін В.М. Теорія безпеки на залізничному транспорті: монографія / В.М.Самсонкін, В.І.Мойсеєнко. – К.: Видавництво «Каравела», 2014. – 248 с.**
129. Сидоренко Г. Г., Никифорова О. А. Людський чинник як основа безпеки руху залізничного транспорту: аналітичний огляд
130. Сидоренко, Г. Проблема забезпечення безпеки руху на залізничних переїздах України / Г. Г. Сидоренко, О. А. Никифорова, Н. П. Рябцева // Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – № 7. - С. 61-64.

131. Сокол Э.Н. Крушения железнодорожных поездов (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики): монография / Э.Н. Сокол – К, Феникс, 2007. –355 с.
132. Сокол Э.Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики) / Э.Н. Сокол. – К.: Транспорт України, 2004. – 364с.
133. Соколов, О. Й. Розробка методики оцінки рівня безпеки руху на залізничному транспорті / О. Й. Соколов // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Харків. – 2000.
134. Технічний аудит земельних ділянок під забудову та об'єктів нерухомості ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В. С. Балицького» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ndibv.kiev.ua/ua/archives/1225>. – Назва з екрана. – Перевірено : 26.09.2017.
135. Травматизм на виробництві у 2010-2019 роки[Електронний ресурс]: Статистичний бюлетень Державної служби статистики України– Режим доступу – <http://www.ukrstat.gov.ua>. – Назва з екрана. – Перевірено: 11.07.2019.
136. Травматизм на виробництві. статистичні дані: динаміка за 12 місяців 2017 р. за галузям, динаміка за 12 місяців 2018 р. за галузями, динаміка за 12 місяців 2019 р. за галузями[Електронний ресурс]: – Режим доступу – <http://dsp.gov.ua/statystychni-dani-vyrobnychoho-travma-2/>– Назва з екрана. – Перевірено: 11.02.2020.
137. Транспорт і зв'язок України – 2010 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу – http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm.– Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
138. Транспорт і зв'язок України – 2011 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу –

- http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
139. Транспорт і зв'язок України – 2012 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу – http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
140. Транспорт і зв'язок України – 2013 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу – http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
141. Транспорт і зв'язок України – 2014 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу – http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
142. Транспорт і зв'язок України – 2015 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу – http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
143. Транспорт і зв'язок України – 2016 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу – http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
144. Транспорт і зв'язок України – 2017 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу – http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.02.2019.
145. Транспорт і зв'язок України – 2018 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу – http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/08/zb_tr2018pdf.pdf – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2019.

146. Транспорт і зв'язок України – 2019 [Електронний ресурс]: Статистичний збірник. – Режим доступу – http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm. – Назва з екрана. – Перевірено: 1.06.2020.
147. Харченко, Т. В. Стан безпеки руху при взаємодії різних видів транспорту [Текст] / Т. В. Харченко // Вестник ХНАДУ. – Харків, ХНАДУ, – 2010. – Вип. 50. – С. 93-96.
148. Хобта А.В. Строительство Транссиба: очерки истории (конец XIX - начало XX вв.) / А.В. Хобта. - Иркутск: НПФ Земля Иркутская, 2009. - 383 с.
149. Шапочка М. К. Сучасний стан та трансформація залізничного транспорту в умовах ринкових відносин [Текст] / М. К. Шапочка, О. І. Рибіна / Економіка та управління національним господарством // Вісник Бердянського університету менеджменту і бізнесу. – 2011. - №1(13). – С. 50-54.
150. Шевцов, А.В., Щирська О.В. Сучасні аспекти класифікації внутрішнього аудиту в умовах імплементації міжнародно-правових норм / Стратегія розвитку України: економічний та гуманітарний виміри: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. – К.: «Інформаційно-аналітичне агентство», 2017. – С. 426-430.
151. Шраменко, О. В. Концептуальні засади інфраструктурної безпеки на залізничному транспорті /О. В. Шраменко, Є. В. Хорошаєва // Вісн. економіки транспорту і промисловості : зб. наук.-практ. ст. /Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2017. – № 57. – С. 97–103.
152. Шубинский, И. Б. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН / И. Б. Шубинский, А. М. Замышляев // Железнодорожный транспорт. – №10. – 2012. – С. 23-28.
153. Шубинский, И. Б. Структурная надежность информационных систем / И. Б. Шубинский. – М.: «Журнал Надежность». – 2012. – 216 с.

154. Щегловитов В. Н. Теория графика движения поездов в связи с вопросом о составах. Ч. 1 : Основные свойства коммерческого графика, 1909. - 422 с.
155. Andrić, J. M., Wang, J., & Zhong, R. (2019). Identifying the Critical Risks in Railway Projects Based on Fuzzy and Sensitivity Analysis: A Case Study of Belt and Road Projects. *Sustainability*, MDPI, Open Access Journal. 11(5). 1-18.
156. Antje Otto, Patric Kellermann, Annegret H. Thieken, Maria Máñez Costa, Maria Carmona, Philip Bubeck, - Risk reduction partnerships in railway transport infrastructure in an alpine environment. - *International Journal of Disaster Risk Reduction* 33 (2019) 385-397, doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.10.025
157. Berrado, Abdelaziz. (2011). A Framework for Risk Management in Railway Sector: Application to Road-Rail Level Crossings. *The Open Transportation Journal*. 5. 34-44. DOI:10.2174/1874447801105010034.
158. Bobrovskiy V. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, R. Vernigora // *Transport Problems*, Vol. 9, Issue 3 – The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Katowice, Poland – 2014 – p. 57-66.
159. Bodnar, B., Bolzhelarskiy, Ya., Ochkasov, O., Hryshechkina, T., & Černiauskaitė L. (2018). Determination of Integrated Indicator for Analysis of the Traffic Safety Condition for Traction Rolling Stock. *Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems (ITELMS'2018)*. The 12th International Scientific Conf. April 26–27.2018. Panevėžys. Kaunas University of Technology. Panevėžys, P. 45–54.
160. Bohus Leitner, A General Model for Railway Systems Risk Assessment with the Use of Railway Accident Scenarios Analysis / *Procedia Engineering* 187, 2017, 150-159, doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.361
161. Börösök J., "Functional Safety - Basic Principles of Safety - Related Systems. Huthig GmbH & Co. KG Heidelberg, Germany, 2007.

162. Cheng, R. K. W. The concept of operations assurance and application in railway / R. K. W. Cheng, R. C. M. Lam // Proc. of the 1st Intern. Workshop on High-Speed and Intercity Railways. – Hong Kong, 2012.–P. 455–466. doi: 10.10007/978-3-642-27963_41.
163. Cole-Baker, J.R. The role of the independent technical audit in raising finance / J.R. Cole-Baker, G.J. Bowyer // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. – 1998. – № 6. – P. 317-326.
164. Dailydka, S. Modeling the interaction between railway wheel and rail / S. Dailydka, L. Lingaitis, S. Myamlin, V. Prichodko // Transport, – 2008, № 23(3) p.p. 236–239.
165. Ейтутис Г. Д. Теоретико - практичні основи реформування залізниць України: Монографія / Г.Д.Ейтутис. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект- Поліграф», 2009. – 240 с.
166. Figueres Esteban M., Hughes P., Gulijk C. Big Data for Risk Analysis: the future of safe railways //XII Congreso de ingeniería del transporte. 7, 8 y 9 de Junio, Valencia (España). – Editorial Universitat Politècnica de València, 2016, 347-353,doi.org/10.4995/CIT2016.2016.1825
167. Grenčík J., Roman Poprocký, Jana Galliková and Peter Volna. Use of risk assessment methods in maintenance for more reliable rolling stock operation //MATEC Web of Conferences 157, 04002 (2018). doi.org/10.1051/matecconf/201815704002
168. Habib Hady-Mabrouk, Contribution of Artificial Intelligence to Risk Assessment of Railway Accidents, Urban Rail Transit, June 2019, Volume 5, Issue 2, pp 104-122, doi.org/10.1007/s40864-019-0102-3
169. ianjia Sun. Application of risk management "a figure four table method" in Anqing in the Yangtze River bridge project [M]. Railway engineering construction management of exploration and practice.

Shanghai Railway Bureau. Beijing: Tsinghua University press.2013.49–56.

170. ISO/IEC 31010:2009 Risk management – Risk assessment techniques (IDT) [Электронный ресурс] // International Electrotechnical Commission. – 2009. – Режим доступа до ресурсу: http://www.previ.be/pdf/31010_FDIS.pdf.
171. Jamshidi, A., Faghih-Roohi, S., Hajizadeh, S., Núñez, A., Babuška, R., Dollevoet, R., Li, Z., & Schutter, B.D. A Big Data Analysis Approach for Rail Failure Risk Assessment. *Risk Analysis*, vol. 37, no. 8, pp. 1495-1507, 2017. DOI:10.1111/risa.12836
172. Jelena M. Andrić, Jiayuan Wang, Ruoyu Zhong, "Identifying the Critical Risks in Railway Projects Based on Fuzzy and Sensitivity Analysis: A Case Study of Belt and Road Projects," *Sustainability*, MDPI, Open Access Journal, vol. 11(5), pages 1-18, 2019. March.
173. Kołowrocki K. Reliability and Safety of Complex Technical Systems and Processes: Modeling-Identification-Prediction- Optimization / K. Kołowrocki, J. Soszycka-Budny. – London : Springer, 2011. – 405 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-694-8.
174. Kuo W. An annotated overview of system reliability optimization / W. Kuo, V. R. Prasad // *IEEE Transactions on Reliability*. – 2000. – Vol. 49(2). – P. 176–187.
175. Kuo W. Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications / W. Kuo, M. J. Zuo. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2003. – 559 p.
176. Leitner, B. (2017). A general model for railway systems risk assessment with the use of railway accident scenarios analysis. *Procedia engineering*. 187. 150-159. DOI.ORG/10.1016/J.PROENG.2017.04.361.
177. LI Qing, LIU Rengkui, ZHANG Jun, SUN Quanxin, Quality risk management model for railway construction projects, *Procedia Engineering* 84 (2014) 195-203, doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.426

178. Licciardello R., Baldassarra A., Vitali P., Tieri A., Cruciani M. & Vasile A. N. Limits and opportunities of risk analysis application in railway systems, *Transactions on The Built Environment*, Vol 134, 2013, 133-144, doi:10.2495/SAFE130131
179. Macii D., Dalpez S., Passerone R., Corrà M., Avancini M., and Benciolini L. - A safety instrumented system for rolling stocks: Methodology, design process and safety analysis. *Measurement* 2015; 67: 1–13, <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2015.01.002>.
180. Magott J, Skrobanek P. Timing analysis of safety properties using fault trees with time dependencies and timed state-charts. *Reliability Engineering & System Safety* 2012; 97(1):14–26.
181. Matusevich O., Matusevich O., Bobyl V., Chornovil O. Railway transport risk management and insurance “Financial and credit activity: problems of theory and practice”. – Kharkiv. – Vol. 2, No 25 (2018) – pp. 128 – 138
182. Min An, Wanchang Lin, Sheng Huang, An Intelligent Railway Safety Risk Assessment Support System for Railway Operation and Maintenance Analysis, *The Open Transportation Journal*, 2013, 7, 27-42, DOI:10.2174/1874447801307010027
183. Misita M., Sebzssia G., Milovanović M.: A combining genetic learning algorithm and risk matrix model using in optimal production program, *Journal of Applied Engineering Science* 10 (3), 147-152.
184. Oz MA, Kaymakcı OT, Koyun A. A safety related perspective for the power supply systems in railway industry. *Eksplotacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2017; 19 (1): 114-120, doi.org/10.17531/ein.2017.1.16
185. Pablo-Marti F., Santos J.S., Kaszowska J. An agent-based model of population dynamics for the European regions [Электронный ресурс] // *Emergence: Complexity and Organization*. 2015. Vol. 17, no. 2.

186. Patil , M., Shinde, R. D., Prof, & Hailkar, S. S., Miss. (2017). Ranking of risk in railway projects. International journal of engineering sciences & research technology, 6(6), 472-476, doi:10.5281/zenodo.814794
187. Pawlik, M. Control command systems impact on the railway operational safety / M. Pawlik // Наука та про-грес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 58–64. doi: 10.15802/stp2015/42160.
188. Peng, Zhaoguang & Lu, Yu & Miller, Alice & Johnson, Chris & Zhao, Tingdi. (2016). Risk Assessment of Railway Transportation Systems using Timed Fault Trees. Quality and Reliability Engineering, 32, 181-194, DOI 10.1002/qre.1738.
189. Piotr Smoczyński, Adam Kadziński, Introduction to the risk management in the maintenance of railway tracks, Journal of mechanical and transport engineering, Vol. 68, No. 4, 2016, 65-80, DOI 10.21008/j.2449-920X.2016.68.4.06
190. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2005a, Id-1 (D-1) Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych, Warszawa
191. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2005b, Instrukcja diagnostyki nawierzchni kolejowej Id-8, Warszawa.
192. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2005c, Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id-14 (D-75), Warszawa.
193. Rausand M. and Høyland A. - System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications. Hoboken: John Wiley 2004.
194. Rekabi M. M. Bayesian Safety Analysis of Railway Systems with Driver Errors: – NTNU, 2018.https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2561322/19177_FULLTEXT.pdf?sequence=1
195. Ruud M. Houdijk, Rail Transport of Hazardous Substances from the Perspective of ‘All Hazard’ Risk Management, Chemical engineering transactions Vol. 48, 2016, 949-954, DOI: 10.3303/CET1648159

196. Sasidharan, Manu & Burrow, M. & Ghataora, Gurmel & Eskandari Torbaghan, Mehran. (2017). A Review of Risk Management Applications for Railways. 14th International Conference of Railway Engineering 2017, At Edinburgh. DOI 10.25084/raileng.2017.0065.
197. Serpell, A. Ferrada, X.; Rubio, L.; Arauzo, S. Evaluating risk management practices in construction organizations. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 2015, 194, 201–210.
198. Stažnik, Darko Babić, Ivona Bajor, Identification and analysis of risks in transport chains, *Journal of Applied Engineering Science* 15(2017)1 ,414, 61-70, doi:10.5937/jaes15-12179
199. Strelko, O. Залізничне будівництво в Російській імперії (1836-1917): витоки та розвиток. Збірник наукових праць НТУУ «КПІ», Державний політехнічний музей. Дослідження з історії техніки. (2014). 50-56.
200. Tenea, D. Risk management in operating activities of industrial railways / D. Tenea, D. Vintila // 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference of Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection. – Albena, Bulgaria, 2013. – Book 5, Vol. 2. – P. 255–262. doi: 10.5593/SGEM2013/BE5.V2/S21.034.
201. Vercellis S. Business Intelligence: Data Mining and optimization for decision making / S. Vercellis. – Hoboken : John Wiley & Sons. 2009. – 417 p. 6. Лысюк В.С. Причины и механизм схода колеса с рельса. Проблемы износа колес и рельсов. В.С. Лысюк – М.: Транспорт, 2002. – 215 с.
202. Wenmin Zhu, Yuanhua Jia, The Research on Safety Management Information System of Railway Passenger Based on Risk Management Theory, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 108 (2018) 042067, doi:10.1088/1755-1315/108/4/042067
203. William D. O. Paterson and Pinki Chaudhuri. Making inroads on corruption in the transport sector through control and prevention / The many

faces of corruption: tracking vulnerabilities at the sector level, edited by J. Edgardo Campos, Sanjay Pradhan. – The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank. – Washington. – 2007. – 435 p. доступ <https://books.google.com.ua/books?id=Wy-oNmjqq-QC&pg=PA181&lpg=PA181&dq=technical+audit&source=bl&ots=se38HgplTR&sig=MiRsmvMFvRNYRz-WM-9Xj2SFUBs&hl=ru&sa=X&ved=0ahUKEwjA6JCTmf7YAhUDBiwKHYnyCR04HhDoAQgrMAA#v=onepage&q&f=false>

204. Yi-Ronald, K.W. The concept of operations assurance and application in railway / K.W. Yi-Ronald, C.M. Lam // Proceedings of the 1st International Workshop on High-Speed and Intercity Railways. – Hong Kong, Springer Science & Business Media. – 2012. – P.455-466.