

УДК 656.151.2

М. І. БЕРЕЗОВИЙ^{1*}, Я. В. БОЛЖЕЛАРСЬКИЙ^{2*}, Д. М. КОЗАЧЕНКО^{3*},
С. В. БОРИЧЕВА^{4*}

^{1*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 03, ел. пошта mykola_berezovyi@diit.edu.ua, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{2*} Каф. «Рухомий склад залізниць і колія», Львівський інститут Українського державного університету науки і технологій, вул. І. Блажкевич, 12а, м. Львів, Україна, 79052, тел. +38 (050) 678 15 03, ел. пошта jarik762145@gmail.com, ORCID 0000-0002-4787-1781

^{3*} Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, г. Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upr.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

^{4*} Каф. «Транспортні вузли», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м. Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 677 37 57, ел. пошта svetikb81@gmail.com, ORCID 0000-0001-6774-6737

ОЦІНКА РИЗИКІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ ЗГІДНО ЄВРОПЕЙСЬКИХ ПІДХОДІВ

Мета. Сортування вагонів на гіркових пристроях є одним з найбільш відповідальних та небезпечних процесів. Ризики, що виникають в процесі розпуску составів можуть призводити до залізнично-транспортних пригод з серйозними наслідками. Однією з операцій процесу сортування вагонів є їх гальмування в процесі скочування, що є складною оперативною задачею з багатьма критеріями, а башмачне гальмування ще й пов'язане зі знаходженням людей в небезпечній зоні. Тому мета дослідження – підвищення безпеки технологічного процесу розпуску вагонів на сортувальній гірці шляхом оцінки ризиків роботи регулювальників швидкості руху вагонів та визначення першочергових заходів з їх мінімізації безумовно є актуальною. **Методи.** У якості методів дослідження обрано процедуру аналізу системи для виявлення потенційних режимів відмов, їх причин та наслідків для функціонування *FMEA* та аналіз видів, наслідків та критичності відмов *FMECA* з засобами ранжування тяжкості режимів відмов. У якості вихідних даних обрано результати анкетування двох професійних груп. **Результати.** Встановлений статистично перелік залізнично-транспортних пригод та нещасних випадків для професії регулювальник швидкості руху вагонів був запропонований для оцінювання серйозності, ймовірності та можливості запобігання у вигляді анкет двом групам фахівців, по 10 осіб у кожній групі. З використанням методу *FMEA* встановлено три складові числа пріоритетності ризику *RPN* для кожного виду небезпеки і розміщено у послідовності зменшення небезпечні випадки, що можуть статися з регулювальниками швидкості руху вагонів. Отримані підсумкові ранги показали узгодженість думок по окремих ознаках всередині групи та їх практичну однаковість для двох професійних груп. Встановлено ризики з найвищою пріоритетністю та ризики з низькими оцінками ймовірності настання та запобігання випадку але з високими оцінками наслідків. **Практична значимість.** Для усіх складових *RPN* – *S*, *O*, *D* узгодженість думок є достатньою і оцінки двох груп фахівців можуть бути використані для подальших досліджень. Встановлено, що запропонований у роботі [4] метод пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між регулювальниками дозволяє мінімізувати саме ті ризики, пріоритетність яких є найвищою за результатами виконаних досліджень.

Ключові слова: сортувальна гірка, башмачне гальмування, ризик, ранжування, серйозність відмови, ймовірність, усунення відмови, регулювальник швидкості руху вагонів.

Вступ

Останнім часом на українських залізницях почала набувати все більшої важливості та актуальності задача забезпечення ефективного та безпечного функціонування сортувальних гірок. Це пов'язане зі зростанням додаткового обсягу сортування вагонів за критерієм власника вагону. При цьому оперативно можуть встановлюватися додаткові призначення плану формування поїздів з тривалим часом накопичення составу та, як наслідок, виникає необхідність оперативного розового, але досить частого та

регулярного виділення колій для накопичення вагонів окремих призначень.

Це явище викликане наявністю в Україні значної кількості приватних операторів вантажних вагонів, які укладають угоди з відправниками певного вантажу, що слідує за визначеними маршрутами, і потребує відповідного спрямування як порожніх, так і завантажених вагонопотоків.

Залізниці здатні вирішувати ці проблеми шляхом більш повного використання існуючих потужностей сортувальних гірок на сортувальних, дільничних і вантажних станціях, які з

певних причин були виведені з експлуатації. Сюди слід віднести закриття окремих груп сортувальних колій через незадовільний технічний стан, зменшення кількості маневрових локомотивів та обслуговуючого персоналу сортувальних гірок до критичних мінімальних розмірів, незадовільний технічний стан гальмових уповільнювачів, тощо. Початок робіт у цьому напрямку підтверджується розробкою у 2021 році філією «Проектно-вишукувальний інститут залізничного транспорту» АТ «Українська залізниця» проектів реконструкції сортувальних гірок на станціях Знам'янка та Роздільна-Сортувальна

Під'їзні колії, де здійснюється масове навантаження та розвантаження вагонів, також зіштовхуються з проблемою дефіциту колійної ємності та маневрових локомотивів для виконання додаткового сортування вагонів з причин, наведених вище [1-3], але це вимагає інших шляхів вирішення.

Аналіз технічного оснащення сортувальних гірок на Укрзалізниці показує, що на 87-ми відсотках гірок [4] застосовується башмачне гальмування регулювальниками швидкості руху вагонів (РШРВ). Це не стосується сортувальних гірок на опорних станціях мережі, які в основному оснащені вагонними уповільнювачами на усіх гальмових позиціях за деякими виключеннями. Так, наприклад, на гірці середньої потужності станції Кривий Ріг-Сортувальний башмачне гальмування реалізоване і на гальмових позиціях спускної частини гірки, і на паркових позиціях.

Сортувальні гірки малої потужності на дільничних та вантажних станціях є немеханізованими, або ж оснащені гальмовими уповільнювачами на позиціях спускної частини гірки з прицільним башмачним гальмуванням на паркових позиціях.

Слід зазначити, що професія регулювальника швидкості руху вагонів є однією з найбільш небезпечних і потребує серйозного підходу до оснащення робочого місця РШСВ, визначення штату працівників та організації ку складів шляхом планування розподілу сортувальних колій між працівниками зміни.

Постановка завдання дослідження

Основними порушеннями безпеки експлуатації гіркових пристроїв в процесі розформування-формування складів є:

- сходи вагонів на стрілочних переводах, вагонних уповільнювачах та кривих ділянках колій;
- пошкодження вагонів та вантажів через

перевищення допустимої швидкості співударення вагонів на сортувальних коліях;

- пошкодження вагонів та вантажів через відсутність габариту проходу вагона на стрілочних переводах спускної частини гірки;

- вихід вагонів за межі колій в хвості сортувального парку через неправильно вибраний режим прицільного гальмування відчепа на парковій позиції.

Безпеку функціонування гіркових пристроїв повинні забезпечувати пристрої гіркового комплексу [5].

Порушення безпеки функціонування є, як правило, наслідком небезпечних ситуацій, джерелами яких можуть бути окремі фактори чи їх поєднання:

- відмови гіркових пристроїв та систем управління;

- помилкові дії чергового по гірці (ДСПГ), операторів гальмових позицій, регулювальників швидкості руху вагонів, машиніста гіркового локомотива;

- неякісна технічна експлуатація гіркових пристроїв;

- небезпечні відмови колій та рухомого складу (злами рейок, падіння деталей вагонів на рейки і т.п.);

- природні явища та ін.

Характерними умовами роботи РШРВ є знаходження працівників в небезпечній зоні вільного скочування відчепів та візуальне оцінювання швидкості руху відчепа і динаміки її зміни в процесі гальмування.

Знаходження працівників в небезпечній зоні та потреба перетину колій в процесі розпуску складів вимагає адекватної візуальної оцінки положення відчепів і різко підвищує вимоги до безпеки сортувального процесу.

Правильне візуальне оцінювання швидкості руху відчепа та динаміки її зміни в процесі гальмування регулювальниками швидкості руху вагонів дозволяє реалізувати прицільне гальмування з подальшим співударенням вагонів на коліях з допустимою швидкістю та мінімізацією ризику самовільного виходу вагонів з колій.

Тому, завданням дослідження, результати якого наведені у даній статті, є визначення та оцінка ризиків, що виникають на сортувальних гірках з башмачним гальмуванням вагонів з використанням європейських підходів.

Дослідження, результати яких наведені в статті були виконані наприкінці 2021 року і в теперішній час через воєнну агресію Російської Федерації певною мірою втратили свою актуальність. Автори статті впевнені, що під час

повоєнного відновлення України та інтенсивної роботи залізничного транспорту результати досліджень будуть безумовно затребувані

Мета дослідження

Підвищення безпеки технологічного процесу розпуску вагонів на сортувальній гірці шляхом оцінки ризиків роботи регулювальників швидкості руху вагонів та визначення першочергових заходів з їх мінімізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Задачі забезпечення безпеки руху на залізничному транспорті визначаються теорією безпеки руху поїздів, концепція якої заснована на поняттях «відповідального виконавця» та «небезпечної відмови» [6]. Зміна критеріїв та методів рішення задач в процесі розвитку теорії безпеки руху призвела до застосування на залізничному транспорті України принципу абсолютної безпеки. Цей принцип викладено в п. 1.1 ПТЕ [7].

Однак традиційний підхід до проблеми безпеки має значну кількість недоліків і не дозволяє її вирішувати раціонально [4]. До них слід віднести неможливість кількісного порівняння поїзної та маневрової роботи, неможливість оцінити безпеку руху для власників рухомого складу та вантажу, неможливість оцінити достатність фактичного рівня безпеки та сертифікувати технічні засоби за показниками безпеки, відсутність функціональних зв'язків між показниками безпеки та фінансовими показниками процесу перевезень, тощо.

Проблема забезпечення безпеки сортувального процесу на сортувальних гірках є комплексною і далеко не новою. Зупинимось на огляді результатів досліджень експлуатації сортувальних гірок з немеханізованими гальмовими позиціями, де саме і здійснюється башмачне гальмування відчепів.

Слід зазначити, що башмачне гальмування конкурує з технологією використання уповільнювачів не тільки в Україні, а й у всьому світі. Механізація процесу гальмування вагонів, що призводить до збільшення капітальних вкладень у пристрої механізації та експлуатаційних витрат на їх утримання, спрямована в першу чергу на забирання людей з небезпечної зони з високим ризиком травмування та летальних випадків. Ще однією причиною механізації сортувальних гірок є пошкодження коліс вагону при башмачному гальмуванні – утворення так званих «ковзунів» на колесах вагонів. Подальша експлуатація вагонів з такими колесами має жорсткі обмеження, а ліквідацію «ковзунів» слід

відносити до сукупних витрат, залежних від башмачного гальмування.

Зупинимось далі на результатах досліджень функціонування сортувальних гірок з башмачним гальмуванням вагонів.

Заслуговує уваги робота [4], де на підставі системного підходу виконано всебічний аналіз досліджень експлуатації немеханізованих сортувальних гірок та наведені результати досліджень, що являються новими, і на які безумовно слід звертати увагу при визначенні та оцінці ризиків, що виникають в процесі розформування составів [8-12].

В роботі [4] обґрунтовано необхідність виконання додаткових досліджень для остаточного вирішення задачі управління швидкістю скочування відчепів при башмачному гальмуванні.

На підставі визначення основних причин виникнення порушення безпеки руху на сортувальних гірках та встановлено допустимі рівні ризику.

Так як один регулювальник може обслуговувати кілька сортувальних колій, виникає додаткова задача з перевірки умов розділення відчепів на паркових башмачних гальмових позиціях та можливості пересування регулювальника між сортувальними коліями.

Використовуючи запропонований у роботі [4] метод пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між регулювальниками, для якого розроблено відповідний математичний апарат пошуку оптимального рішення, можна знизити ризики виникнення «небезпечної відмови». Під небезпечною відмовою у даному випадку слід розуміти виникнення таких умов, при яких не буде реалізована умова гальмування відчепів з усіма можливими наслідками. Окрім цього зменшується ризик при перетині регулювальником колії перед наступним відчепом.

Заслуговують уваги методи, які на основі імітаційного моделювання процесу розпуску составів дозволяють розрахувати потрібну величину збільшення тривалості розпуску при заданій кількості регулювальників швидкості руху вагонів і безумовному виконанні умов безпеки руху.

В даній статті розглянуто застосування методу аналізування видів і наслідків відмов *FMEA* (англ. – *Failure Mode and Effects Analysis*) для оцінки ризиків у роботі регулювальників швидкості руху вагонів на сортувальній гірці. Метод *FMEA* поєднано з методом експертних оцінок, що дозволяє краще обґрунтувати вибір складових числа пріоритетності ризику.

Основний матеріал дослідження

Метод оцінки ризику. В національному стандарті [13] наведено головні принципи вибору тридцять одного методу загального оцінювання ризику, а також питання, на які потрібно дати відповідь в процесі загального оцінювання ризику. Ці питання стосуються ідентифікації ризику, можливих наслідків та ймовірності їх виникнення у майбутньому, чинників, що пом'якшують наслідки ризику чи знижують його ймовірність, а також чи є рівень ризику прийнятним і чи треба буде його обробляти у подальшому.

Аналіз методів загального оцінювання ризику, які наведені у стандарті дозволяє висунути гіпотезу, що для загального оцінювання ризиків РШРВ може бути застосований метод аналізування видів і наслідків відмов *FMEA*.

Процедура *FMEA* для аналізу надійності та безпечності роботи систем стандартизована у [13]. Стандарт визначає *FMEA* як процедуру аналізу системи для виявлення потенційних режимів відмов, їх причин та наслідків для функціонування системи. *FMEA* є одним з методів виявлення тяжкості можливих відмов на оцінки заходів зі зменшення їх наслідків. Деякі з підвидів *FMEA* дозволяють проводити оцінку ймовірності виникнення відмов.

Одним з розширень *FMEA* є аналіз видів, наслідків та критичності відмов *FMECA* (англ. - *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), який включає в себе засоби ранжування тяжкості режимів відмов для визначення пріоритетності контрзаходів.

Стандарт [14] окремо відзначає можливість застосування принципів *FMEA* поза інженерним конструюванням. Процедура *FMEA* є гнучким інструментом, який можна налаштувати для задоволення конкретних потреб галузі у т.ч. для визначення та оцінки ризиків на сортувальних гірках з башмачним гальмуванням.

Серед завдань аналізу *FMEA*, які наведені у [14] слід відзначити:

- виявлення збоїв, які мають критичний вплив на роботу системи, тобто спричиняють припинення або значне погіршення роботи або впливають на безпеку користувачів;

- визначення критичності або пріоритетності для усунення або зменшення впливу відмов на правильне функціонування або продуктивність системи.

Таким чином можливість застосування методу *FMEA* (а точніше – *FMECA*) для загального оцінювання ризику травмування РШРВ можна вважати обґрунтованою. Розглянемо основні принципи проведення *FMECA* у прив'язці до визначення та оцінки ризику в роботі

регулювальників швидкості руху вагонів.

Як уже було відзначено вище, розширення *FMECA* передбачає оцінку критичності відмови (у даному випадку – ризику травмування або іншого погіршення здоров'я). Оцінка критичності, згідно [14], передбачає кількісну оцінку відносної величини кожної відмови, що є допоміжним засобом прийняття рішення відносно встановлення пріоритету дій з пом'якшення чи мінімізації впливу окремих ризиків.

У якості міри кількісного визначення критичності ризику стандарт пропонує використовувати число пріоритетності ризику *RPN* (англ. – *Risk Priority Number*), яке визначається як

$$RPN = S \cdot O \cdot D$$

де *S* – безрозмірне число, яке визначає ранг серйозності відмови (англ. – *Severity*), тобто, наскільки сильно наслідки відмови вплинуть на систему або користувача;

O – безрозмірне число, яке визначає ранг ймовірності (у значенні – можливості настання) даного режиму відмови; (англ. – *probability of occurrence*);

D – безрозмірне число, яке визначає ранг можливості виявлення, тобто оцінку шансу на виявлення та усунення відмови до того часу, як вона сталася (англ. – *detection*).

Слід зазначити, що величина *D* ранжується у зворотному до *S* та *O* порядку.

У подальшому відмови упорядковуються за значеннями їх *RPN*, причому приймається, що високий пріоритет має відмова з високим *RPN*.

Шкали значень рангів складових *RPN* можуть бути різними, однак на практиці широко використовується шкала від 1 до 10 для усіх складових [14].

Проведення анкетування. На основі статистичного аналізу нещасних випадків на виробництві було виділено 13 характерних для регулювальників швидкості руху вагонів нещасних випадків або подій, що негативно впливають на здоров'я. Їх перелік наведені у табл. 1.

Перелік вказаних у табл. 1 подій був запропонований у вигляді анкет двом групам фахівців, по 10 осіб у кожній групі – регулювальникам, що працюють на станції Сарни РФ «Львівська залізниця» та фахівцям служби охорони праці РФ «Львівська залізниця».

У анкеті була наведена коротка інструкція, у якій вказувалась мета проведення дослідження, його анонімність, максимальна кількість балів та принципи оцінювання, можливість присвоєння однакових балів різним випадкам.

Таблиця 1

Перелік нещасних випадків

Ви ризику	Позначення
Травмування відчепом при переході через колії	E_{v1}
Травмування відчепом при постановці гальмівного башмака	E_{v2}
Травмування при падінні при переході через колії	E_{v3}
Травмування при падінні при русі вздовж колій	E_{v4}
Ураження електричним струмом при перебуванні у службовому приміщенні	E_{v5}
Переохолодження	E_{v6}
Тепловий удар	E_{v7}
Дорожньо-транспортна пригода при русі на роботу/з роботи	E_{v8}
Травмування локомотивом	E_{v9}
Травмування при зчепленні-розчепленні вагонів	E_{v10}
Травмування при стихійних природних лихах	E_{v11}
Травмування під час проведення робіт зі снігоборотьби	E_{v12}
Побутові травми під час перерв у роботі (порізи, опіки і т.і)	E_{v13}

Кожній групі фахівців було запропоновано проставити ранги видам випадків, які наведені у анкеті для ознак ймовірності настання даного випадку O , серйозності наслідків S та можливості виявлення передумов та запобігання даного випадку D .

Розділення ризиків по рангах. Для ранжування складових RPN використано метод рангової кореляції [15, 16]. Так як при проставленні рангів мали місце однакові значення, проведено нормалізацію ранжувань дотримуючись умови, що сума всіх рангів рівна сумі чисел натурального ряду від 1 до кількості видів нещасних випадків n .

Нормалізовані ранжування за оцінками фахівців кожної групи занесені у розрахункові таблиці. При визначенні ступеня важливості відмови (типу випадку) визначалася сума рангів, привласнених i -ому виду випадку всіма експертами за формулою:

$$\sum_{i=1}^m R_{ij} = R_{i1} + R_{i2} + \dots + R_{ij} + R_{im},$$

де R_{ij} – ранг, присвоєний експертом i -ому виду випадку j -м експертом.

Впорядковані в порядку зростання суми рангів указують на відносну вагу виду залізнично-транспортної пригоди чи нещасного випадку у кожній з наведених вище ознак. Вид випадку, що має максимальну суму рангів, матиме найбільшу важливість на думку експертів.

При виконанні оцінки відносної важливості показників згідно [15] визначався коефіцієнт конкордації W , який характеризує узгодженість думок фахівців у групі та груп фахівців між собою, визначається за формулою

$$W = \frac{\sum d_i^2}{\frac{1}{12} \cdot m^2 (n^3 - 1) - m \cdot \sum_{j=1}^m T_j},$$

$$\text{де } T_j = \frac{1}{12} \cdot \sum_{j=1}^m (t_j^3 - t_j),$$

де m – кількість фахівців, що приймали участь в опитуванні;

t_j – кількість рангів, що збіглися в ранжуванні j -ого експерта;

$\sum d_i^2$ – сума квадратів відхилень суми рангів кожного показника від середньої суми, визначається за формулою

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m R_{ij} - \frac{m \cdot (n+1)}{2} \right)^2.$$

Для оцінки ступеня узгодженості думок фахівців використано середньостатистичний критерій χ^2 з $n-1$ ступенем свободи:

$$\chi^2 = m \cdot (n-1) \cdot W$$

Обчислене значення χ^2 порівнювалось з табличним при рівні значущості $q = 5\%$. Перевищення обчисленого коефіцієнту табличного свідчить про достатню узгодженість думок фахівців і можливість використання для подальшого аналізу підсумкове ранжування факторів.

Результати дослідження.

У якості прикладу в табл. 2 на підставі отриманих значень нормалізованого рангу наведені результати розрахунку підсумкового рангу та узгодженості думок групи регулювальників швидкості руху вагонів для ознаки серйозності наслідків S .

Аналогічні розрахунки для групи фахівців служби охорони праці наведені в табл. 3

Таблиця 2

Результати розрахунку підсумкового рангу та узгодженості думок РШРВ для ознаки серйозності наслідків S

Вид ризику	Значення нормалізованого рангу для фахівця										Сума	Підсумковий ранг	d_i^2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
E_{V1}	13	12	12,5	12,5	10	11,5	13	10,5	11,5	12	118,5	13	2352,3
E_{V2}	11,5	12	12,5	12,5	12,5	8,5	10,5	9	11,5	12	112,5	12	1806,3
E_{V3}	3,5	2,5	5,5	4,5	3	6,5	2	3	6,5	2,5	39,5	4	930,25
E_{V4}	1,5	4,5	3	4,5	3	6,5	1	6	1,5	2,5	34	3	1296
E_{V5}	9	7	7	7	7	8,5	7	8	11,5	7	79	7	81
E_{V6}	1,5	2,5	5,5	2,5	3	2,5	5,5	3	1,5	2,5	30	2	1600
E_{V7}	5,5	4,5	3	2,5	5	2,5	5,5	3	4,5	5	41	5	841
E_{V8}	7	9,5	10,5	10	10	4,5	8,5	6	6,5	9,5	82	8	144
E_{V9}	9	12	10,5	10	12,5	11,5	10,5	10,5	8,5	12	107	11	1369
E_{V10}	11,5	9,5	8,5	10	10	4,5	8,5	6	11,5	9,5	89,5	9	380,25
E_{V11}	9	7	8,5	7	7	11,5	12	12,5	8,5	7	90	10	400
E_{V12}	5,5	7	3	7	7	11,5	4	12,5	4,5	7	69	6	1
E_{V13}	3,5	1	1	1	1	1	3	1	3	2,5	18	1	2704
Сума	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	910	91	13905

Таблиця 3

Результати розрахунку підсумкового рангу та узгодженості думок фахівців служби охорони праці для ознаки серйозності наслідків S

Вид ризику	Значення нормалізованого рангу для фахівця										Сума	Підсумковий ранг	d_i^2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
E_{V1}	12	11,5	11	13	11,5	10	11	11,5	12	12	115,5	13	2070,3
E_{V2}	12	11,5	11	10,5	8,5	12,5	11	11,5	12	12	112,5	12	1806,3
E_{V3}	2,5	6,5	2	1,5	6,5	3	4,5	5,5	2,5	3,5	38	4	1024
E_{V4}	2,5	1,5	4	1,5	6,5	3	4,5	3	4,5	1,5	32,5	3	1406,3
E_{V5}	7	11,5	8	7	8,5	7	7	7	7	9	79	7	81
E_{V6}	2,5	1,5	4	5,5	2,5	3	2,5	5,5	2,5	1,5	31	2	1521
E_{V7}	5	4,5	4	5,5	2,5	5	2,5	3	4,5	5,5	42	5	784
E_{V8}	9,5	6,5	6,5	8,5	4,5	10	11	11,5	9,5	7	84,5	8	210,25
E_{V9}	12	8,5	11	10,5	11,5	12,5	11	11,5	12	9	109,5	11	1560,3
E_{V10}	9,5	11,5	6,5	8,5	4,5	10	11	8,5	9,5	12	91,5	10	462,25
E_{V11}	7	8,5	11	12	11,5	7	7	8,5	7	9	88,5	9	342,25
E_{V12}	7	4,5	11	4	11,5	7	7	3	7	5,5	67,5	6	6,25
E_{V13}	2,5	3	1	3	1	1	1	1	1	3,5	18	1	2704
Сума	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	910	91	13978

Аналіз підсумкових рангів табл. 2 та 3 показує їх однаковість за виключенням ризиків E_{V10} «Травмування при зчепленні-розчепленні вагонів» та E_{V11} «Травмування при стихійних природних лихах». Значення підсумкових рангів вказаних ризиків відрізняються в межах статистичної похибки.

В табл. 4 наведені результати узгодженості думок для групи регулювальників швидкості руху вагонів. Аналогічні результати отримано і для групи фахівців служби охорони праці.

Результати розрахунків показують, що для усіх складових $RPN - S, O, D$ узгодженість думок є достатньою, тобто $\chi^2 > \chi_{q=0,05}^2$ і оцінки

двох груп фахівців можуть бути використані для подальших досліджень.

Таблиця 4

Результати розрахунку узгодженості думок групи регулювальників

Складова RPN	Значення для показника узгодженості				
	T_j	$\sum d_i^2$	W	χ_q^2	χ^2
S	55,0	13905	0,79	21,0	94,57
O	89,5	13459	0,78		93,33
D	97,5	11671	0,68		81,3

В табл. 5 наведені результати розрахунку показника RPN та впорядкування ризиків за їх значенням.

Розрахунок показника RPN та впорядкування випадків за його значенням

Назва випадку	Вид ризику	Значення складової RPN			RPN
		S	O	D	
Травмування відчепом при переході через колії	E_{V1}	13	12	11	1716
Травмування відчепом при постановці гальмівного башмака	E_{V2}	12	11	10	1320
Травмування при зчепленні-розчепленні вагонів	E_{V10}	9	13	9	1053
Травмування при стихійних природних лихах	E_{V11}	10	5	13	650
Дорожньо-транспортна пригода при русі на роботу/з роботи	E_{V8}	8	6	12	576
Тепловий удар	E_{V7}	5	8	8	320
Травмування під час проведення робіт зі снігоборотьби	E_{V12}	6	9	5	270
Травмування при падінні при переході через колії	E_{V3}	4	10	6	240
Травмування при падінні при русі вздовж колій	E_{V4}	3	7	7	147
Травмування локомотивом	E_{V9}	11	2	2	44
Ураження струмом при перебуванні у службовому приміщенні	E_{V5}	7	1	4	28
Побутові травми під час перерв у роботі (порізи, опіки і т.і)	E_{V13}	1	3	3	9
Переохолодження	E_{V6}	2	4	1	8

Отже, найвище число пріоритетності мають ризики випадків травмування відчепом при переході через колію і травмування відчепом при установці гальмівного башмака.

Також слід звернути увагу на ризик травмування локомотивом. Вказаний випадок має високу оцінку наслідків S , однак оцінка ймовірності настання O та оцінка запобігання настання даного випадку D є низькими, тому число пріоритетності даного ризику також є низьким.

Ризики травмування та погіршення стану здоров'я, що спричинені побутовими та природними факторами мають низьке число пріоритетності.

Висновки

Організація роботи залізничних станцій, обладнаних гірковими сортувальними пристроями з башмачним гальмування відчепів потребує комплексного і системного підходу до вирішення питань визначення, ідентифікації, оцінки ризиків та розробки заходів по їх зменшенню.

В ході досліджень були сформульовані наступні висновки.

1. З використанням методу експертних оцінок було проведено опитування двох груп експертів по 10 осіб. Опрацювання результатів дозволило встановити факт узгодження думок експертів як рамках групи, так і між групами.

2. З використанням методу *FMEA* встановлено три складові числа пріоритетності ризику *RPN* для кожного виду небезпеки і розміщено у послідовності зменшення небезпечні випадки, що можуть статися з регулювальниками швидкості руху вагонів.

3. Встановлено, що найвище число пріоритетності мають ризики випадків травмування

відчепом при переході через колію і травмування відчепом при установці гальмового башмака. Встановлено, що ризик травмування локомотивом при низьких оцінках ймовірності настання O та запобігання настання даного випадку D має високу оцінку наслідків S .

Ризики травмування та погіршення стану здоров'я, що спричинені побутовими та природними факторами мають низьке число пріоритетності.

4. Встановлено, що запропонований у роботі [4] метод пошуку оптимального розподілу сортувальних колій між регулювальниками дозволяє мінімізувати саме ті ризики, пріоритетність яких є найвищою за результатами виконаних досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Козаченко Д. М., Малашкін В. В., Березовий М. І., Боричева С. В. Аналіз логістичних ризиків залізничного транспорту гірничо-збагачувального комбінату в умовах збільшення обсягів виробництва готової продукції. Транспортні системи та технології перевезень. Дніпро, 2021. Вип. 21. С. 41–48. DOI: 10.15802/tstt2021/237650.

2. Козаченко Д. М., Березовий М. І., Малашкін В. В., Боричева С. В. Особливості розрахунку потрібної кількості колій зернових терміналів у морських портах в сучасних умовах. Транспортні системи і технології перевезень. Дніпро, 2021. Вип. 22. С. 80–87. DOI: 10.15802/tstt2021/247886.

3. Козаченко Д. М., Березовий М. І., Малашкін В. В., Мілянчик А. Р. Аналіз перспектив та передумов створення в Україні операторів залізничної інфраструктури. Транспортні системи і технології перевезень. Дніпро, 2020. Вип. 20. С. 66–73. DOI: 10.15802/tstt2020/217408.

4. Гревцов С. В. Підвищення ефективності процесу розформування составів на сортувальних гірках

з немеханізованими парковими гальмовими позиціями. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Дніпро, 2018. 164 с.

5. Модин Н. К. Безопасность функционирования горочных устройств. Москва : Транспорт, 1995. 173 с.

6. Лисенков В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов. Москва: Транспорт, 1992. 192 с.

7. Правила технічної експлуатації залізниць України. Київ : Транспорт України, 2005. 256 с.

8. Гревцов С. В. Дослідження умов розділення відцепів на немеханізованих гальмових позиціях // Транспортні системи і технології перевезень. 2016. № 11. С. 26–32. doi: 10.15802/tstt2016/7682

9. Гревцов С. В. Дослідження ризиків, пов'язаних з розформуванням составів поїздів на сортувальних гірках // Транспортні системи і технології перевезень. 2016. № 10. С. 10–15. doi: 10.15802/tstt2016/85879.

10. Kozachenko D. M., Bobrovskiy V. I., Grevtsov S. V., Berezoviy M. I. Controlling the speed of rolling cuts in condition of reduction of brake power of car retarders // Наука та прогрес транспорту. 2016. № 3 (63). С. 28–40. doi: 10.15802/stp2016/74710.

11. Козаченко Д. Н., Гревцов С. В., Болвановская Т. В. Управление роспуском составов на сортировочных горках с немеханизированными парковыми тормозными позициями // Вісник нац. техн. ун-ту «ХПІ».

Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси : зб. наук. пр. Харків, 2017. № 19 (1241). С. 72–80.

12. Козаченко Д. Н., Бобровский В. И., Гревцов С. В. Оптимизация распределения сортировочных путей между регулировщиками скорости вагонов // Транспортні системи і технології перевезень. 2017. Вип. 13. С. 26–36. doi: 10.15802/tstt2017/110766.

13. Національний стандарт України. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (ІЕС/ІСО 31010:2009, ІДТ) ДСТУ ІЕС/ІСО 31010:2009 31010:2013. Видання офіційне. Київ Мінекономрозвитку України. 2015. Надано чинності: наказ Мінекономрозвитку України від 11 грудня 2013 р. №1469 з 2014-07-01

14. ІЕС 60812. Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA).

15. Добров В.В. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. – К.: Наука, 1974. – 245 с.

16. Кендел М.Д. Ранговые корреляции. - М.: Финансы и статистика, 1975. – 300 с.

Надійшла до редколегії 20.06. 2022

Прийнята до друку 22.06.2022

M. BEREZOVIYI, Y. BOLZHELARSKIYI, D. KOZACHENKO, S. BORYCHEVA

ASSESSMENT OF RISKS ON SORTING SLIDES ACCORDING TO EUROPEAN APPROACHES

The purpose. Sorting wagons on slide devices is one of the most responsible and dangerous processes. Risks arising in the process of disbanding trains can lead to railway accidents with serious consequences. One of the operations of the process of sorting wagons is their braking during rolling, which is a complex operational task with many criteria, and shoe braking is also related to the presence of people in a dangerous zone. Therefore, the goal of the research is to increase the safety of the technological process of breaking up cars on the sorting chute by assessing the risks of the speed controllers and determining the priority measures to minimize them. **The Methodology.** The system analysis procedure for identifying potential failure modes, their causes and consequences for the operation of FMEA and the analysis of the types, consequences and criticality of FMECA failures with means of ranking the severity of failure modes were chosen as research methods. The results of the survey of two professional groups were chosen as the initial data. **The results.** A statistically established list of railway accidents and accidents for the profession of train speed controller was offered to two groups of specialists, 10 people in each group, to assess the severity, probability and possibility of prevention in the form of questionnaires. Using the FMEA method, the three components of the RPN risk priority number for each type of hazard are established and the dangerous cases that can happen to the rail speed regulators are placed in descending order. The obtained final ranks showed the consistency of opinions on certain characteristics within the group and their practical uniformity for the two professional groups. Risks with the highest priority and risks with low estimates of the probability of occurrence and prevention of the event, but with high estimates of consequences, have been established. **Practical significance.** For all components of the RPN – S, O, D, the agreement of opinions is sufficient and the evaluations of two groups of experts can be used for further research. the priority of which is the highest according to the results of the performed studies.

Keywords: sorting hump, braking, risk, ranking, failure severity, probability, failure elimination, wagon speed controller.