

УДК 504.5:656.225.073.436

Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО^{1*}, М. В. КАЛИМБЕТ^{2*}

^{1*}Каф. «Хімія та інженерна екологія», Український державний університет науки та технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна. 49010, +38(067) 774 04 64, ел. пошта j.v.zelenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-5551-0305

^{2*}Науково-дослідна частина, Український державний університет науки та технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна. 49010, +38 (093) 431 19 69, ел. пошта kalimbet.nicolay@gmail.com, ORCID 0000-0002-2209-6395

ОЦІНКА РИЗИКІВ ТА НАДАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО МІНІМІЗАЦІЇ ЇХ ВИНИКНЕННЯ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

Мета: Оцінити ризики виникнення аварійних ситуацій та надати рекомендації щодо їх мінімізації під час перевезення вантажів залізничним транспортом. **Методика.** На базі методів порівняльної типології, експертних оцінок та системного аналізу для маршруту, що пролягає через промислові райони Кривого Рогу, використовуючи методики аналізу причин та наслідків ключової події, комбінованої діаграми Ісікави дерева ключової події, карт ризиків ключової події, аналізу скритих та прямих пріоритетів було визначено показник ризику комплексної дії негативних факторів аварійних ситуацій під час транспортування НВ. **Результати.** авторами було визначені найбільш вірогідні причини виникнення аварійної ситуації: 1) Ракетний снаряд, що пошкодив колію в результаті чого стався самовільний вихід вагонів; 2) Перевищення швидкості состава з цистернами; 3) Ожеледиця, що призвела до збільшення гальмівного шляху і аварії; 4) Недогляд перешкод для руху перед пересуванням цистерн, що в свою чергу може призвести до зупинки технологічного процесу, розливу вантажу та фінансових збитків. Проведено імовірнісну оцінку ризику на основі експертної оцінки оператора ризику та запропоновано заходи зменшення виникнення аварійних ситуацій з щорічними витратами на них, тис. грн. Після чого були створені карта імовірнісної оцінки ризику та карта імовірнісної оцінки ефектів управління ризиком, що дають можливість ефективного управління та менеджменту вірогідними причинами виникнення аварійної ситуації та обранням фінансових вкладень на заходи зменшення виникнення аварійних ситуацій. Після чого запропоновано, використання комбінованого вагону моделі 17-975(01) із усім необхідним обладнанням у якості засобу для швидкої локалізації та ліквідації наслідків розливів емісій небезпечних речовин під час перевезення їх залізничним транспортом у наслідок настання аварії. Також було обґрунтовано економічна доцільність використання запропонованого засобу. **Наукова новизна** полягає у створенні моделі для аналізів оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації, а також виявлення можливих причин та факторів виникнення аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом, а також розробка рекомендацій для їх зниження. **Практичною значимістю** є впровадження розроблених рекомендацій, на основі створеної моделі, для формування спеціального вагону, для експлуатаційних потреб, із підбором необхідного обладнання для швидкого проведення 1 етапу локалізаційно-ліквідаційних заходів.

Ключові слова: оцінка виникнення ризиків, аналіз причин та наслідків, діаграма Ісікави, дерево ключової події, екологічні технології, небезпечні вантажі, локалізація аварій, ліквідація аварій, комбінований вагон моделі 17-975(01), вартість перевезення комбінованого вагону.

Вступ

Останнім часом спостерігається значне посилення технічних норм і екологічних вимог до безпеки процесів перевезень небезпечних вантажів усіма видами транспорту. Це безпосередньо пов'язано з екологічними наслідками можливих аварійних або технологічних розливів небезпечних вантажів внаслідок порушення регламенту їх перевезення.

Через швидкий розвиток мобільності суспільства заходи щодо забезпечення процесів перевезень небезпечних вантажів усіма видами транспорту, на жаль, розвиваються недостатньо.

Іноді дуже складно аналізувати причини й наслідки виникнення аварійної ситуації. Отже, розробка принципів підвищення безпеки процедури перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом є актуальним завданням.

Основою управління силами під час ліквідування наслідків аварійних ситуацій на залізничному транспорті є рішення керівника відповідного оперативного штабу. Управління цими силами здійснюється в умовах ризику та невизначеності, які зумовлені неповнотою інформації про стан рухомого складу та об'єктів залізничної інфраструктури у аварійній ситуації, розвиток небезпечних чинників аварійної ситу-

ації, їхній негативний вплив на довкілля і людей, а також дефіциту часу, необхідного для зменшення такого впливу та відновлення руху поїздів у найкоротший термін.

Проблематикою суперечності між потребою локалізації або ліквідації наслідків аварійних розливів НВ та швидким відновлення пропускної спроможності залізничного транспорту є актуальним питанням, особливо зважаючи на сьогоднішню ситуацію в країні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідників які займаються дослідженнями у сфері поведінки з небезпечними вантажами, можна умовно поділити на 3 категорії:

1. Дослідники, що займаються питаннями забезпечення безпеки під час перевезення вантажів.

2. Дослідники які займаються питаннями оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації під час транспортування таких вантажів.

3. Дослідники, які шукають різні способи локалізації та ліквідації аварійних розливів емсій небезпечних вантажів.

Цим питанням займаються вітчизняні та зарубіжні вчені, такі як: М. О. Афонін [1,2], С. В. Бойченко [3], Я. В. Болжеларський [4,5], Р. В. Вернигора, В. Л. Горобець [6,7], Ю. В. Зеленько [8, 9], Д. М. Козаченко, І. Л. Журавель [10], М. Д. Кацман [11], Д. М. Козадою, Д. В. Ломотько [12,13], О. В. Лаврухін [14], М. Л. Сорока [15-17], О.В. Фомін[18], В. Drzewieniecka & M. Nowak [19], A. A. Conca [20], L. Szacińo, M. Jасуна з колегами [21], M. Šolc, M. Novanec [22], F. Borghetti, G. Malavasi [23] та ін.

У їх працях розкрито питання визначення оцінки ризиків виникнення аварійних ситуацій, забезпечення безпеки перевезення НВ, впливу різних видів транспорту на довкілля, інтеграції держав у вирішенні екологічних проблем на транспорті, способів підвищення екологічної безпеки, а також природоохоронних заходів й управління екологічною діяльністю, створення міжнародної системи транспортних коридорів, способів мінімізації ризиків виникнення аварійних ситуацій, а також шкідливого впливу залізничного транспорту на довкілля, тощо. Проте всі вони розглядаються науковцями окремо, згідно категорій дослідників представлених вище, та не зоглядають у сукупності, як єдине ціле.

Аналізуючи наявну проблематику, виникає необхідність удосконалення існуючих методів оцінки ризиків виявлення причинно – наслідкового зв'язку, а також ліквідації аварійних роз-

ливів для підвищення ефективності, впровадження принципів мінімізації наслідків негативного впливу транспорту на навколишнє середовище.

Саме тому наукова проблематика пошуку нових рішень для підвищення рівня безпеки, мінімізації негативних наслідків, забезпечення екологічності та економічності на транспорті, а також ефективності роботи відповідних підрозділів у разі виникнення аварійних ситуацій під час перевезень небезпечних вантажів є актуальною.

Мета

Враховуючи вище зазначене мета дослідження направлена на підвищення безпеки процедури перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом шляхом мінімізації ризиків настання аварійних ситуацій, удосконалення системи запобігання та ліквідації їх наслідків.

Методика

Під ризиком на залізничному транспорті розуміється ймовірність втрат, збитків у процесі здійснення перевезень залізничними шляхами сполучення.

Оцінка ризиків дозволяє організації враховувати, якою мірою події можуть вплинути на досягнення її цілей. до того ж результати оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації можна використовувати для підбору обладнання для оснащення вагонів для експлуатаційних потреб.

Авторами на основі графічних, аналітичних інструментів та за допомогою теорії вірогідності був проведений аналіз оцінки виникнення аварійної ситуації У теоретичних дослідженнях і чисельних експериментах використано методи статистичного, системного аналізу та математичного моделювання.

Для проведення аналізу оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації для початку була проведена ідентифікація небезпечного вантажу, оцінка потенційних ризиків перевезення та зберігання небезпечного вантажу un 1790 в умовах населеного міста, ідентифікація потенційних сценаріїв небезпечної події. Авторами було обрано небезпечну речовину «Хлорна кислота», у якості прогнозованої речовини яка буде перевозитись залізничним транспортом для оцінки ризиків виникнення аварійних ситуацій.

Оцінку ризиків виникнення аварійної ситуації виконано поблизу населеного пункту Кри-

вий ріг (див. рис. 1), де наведено геопросторову характеристику промислової зони (координати майданчика 48,51935 34,47176). Радіус імовірного ураження становить 1,0 км (червоне коло на рис. 1). Орієнтовна кількість небезпечного

вантажу, яка умовно розлилась при створенні моделі це 160 т, тобто орієнтовно 2-3 цистерни із «Хлорною кислотою».

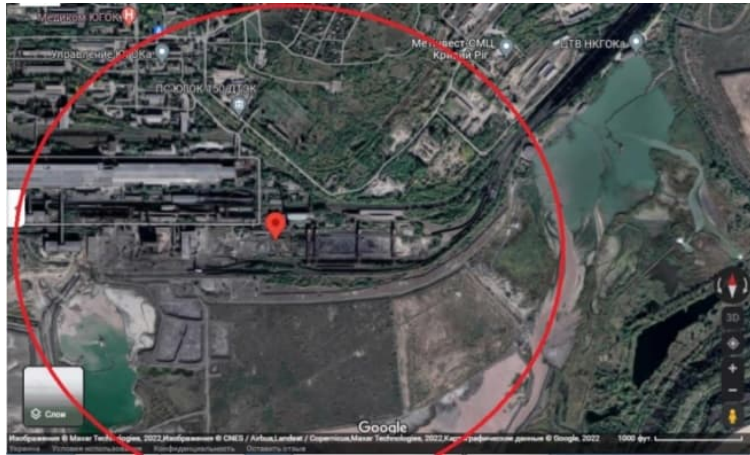


Рис. 1. Геопросторова характеристика майданчика підприємств, що розташовані у Кривому Розі

Аналіз літературних джерел [1-23] показав, що до основних аварійних сценаріїв під час перевезення небезпечних вантажів належать:

- розгерметизація цистерн на під'їзних коліях через порушення маневрових робіт;
- терористичний акт із підривом цистерн з небезпечними вантажами;
- спалах цистерн на ПК через ігнорування вимог пожежної безпеки працівниками;
- сходження цистерн з рейок через їх незадовільний технічний стан;
- неправильне визначення класу, виду небезпеки, умов перевезення, зберігання та обробки вантажу;
- несправність колій рухомого складу;
- несправність засобів сигналізації, централізації та блокування;

- помилки диспетчерів;
- неуважність і халатність машиністів.

Ключова подія яка була взята для моделювання це розгерметизація цистерн на під'їзних коліях через порушення маневрових робіт, як одна з поширених, що призводить до виникнення багатьох аварій.

На основі аналізу причин та наслідків ключової події який поєднує 2 методи: експертного аналізу ризиків та аналізу чутливості проекту, де чутливість – процентна зміна критерію (ЧДД), розділена на процентну зміну змінного фактору, використовуючи спеціальні ключі шкали оцінювання, було побудовано карти ризиків ключової події (табл. 1).

Таблиця 1

Ключ шкали оцінювання для карти ризиків ключової події

		Тиск впливу наслідків				
		Мінімальний	Невеликий	Помірний	Значний	Великий
Оцінка вірогідності настання наслідку	Напевно	Ниже середнього	Середня	Вище середньої	Висока	Висока
	Вірогідно	Низька	Ниже середнього	Середня	Вище середньої	Висока
	Можливо	Низька	Ниже середнього	Середня	Вище середньої	Вище середньої
	Маловірогідна	Низька	Ниже середнього	Ниже середнього	Середня	Вище середньої
	Мінімально	Низька	Низька	Ниже середнього	Середня	Середня
Якісна оцінка (експертне судження)		Низька	Ниже середнього	Середня	Вище середньої	Висока
Кількісна шкала		5 – 10 – 15 – 20	25 – 30 – 35 – 40 – 45	50 – 55- 60 – 65	70 – 75 – 80 – 85	90 – 95 - 100

Далі проводили аналіз прямих та скритих пріоритетів. Це дозволяє на основі аналізу виробити основну стратегію та рекомендації щодо зниження ризиків виникнення аварійних ситуацій

Для подальшого аналізу та розробки заходів попередження були обрані саме пари скритих пріоритетів. Вибір ґрунтується на тому факті, що аналіз прямих пріоритетів встановив, що «Ракетний снаряд що пошкодив дорогу в результаті чого стався самовільний вихід цистерн» має найвищий пріоритет серед усіх наслідків, а наслідки «Перед пересуванням цистерн водій не переконався у відсутності перешкод для руху» та «Перевищення швидкості маневрового состава» мають другий пріоритет та можуть бути пов'язані із іншими небажаними наслідками: Закриття руху інших поїздів, фінансовими збитками, розливами вантажу та забруднення води штучних озер. В табл. 3

представлені чинники небезпеки та індикатори їх контролю.

Для початку дізнаємось кількість випадків у нормальному періоді для усіх скритих пріоритетів. Далі за допомогою ключів шкали оцінювання проводимо оцінку імовірностей та наслідків (див. табл. 2).

Таблиця 2

Ключі шкал оцінювання оцінки імовірності та наслідків

Оцінка імовірності / оцінка наслідків	
Низький	1
Середній	3
Високий	5

Далі проводимо імовірнісну оцінку ризику на основі експертної оцінки оператора ризику

Таблиця 3

Чинники небезпеки та індикатори їх контролю

№	Ризик та небезпека	Опис ризику та небезпеки	Чинники впливу	Основні агенти впливу (винуватці)	Способи (індикатори) контролю
1	Перед пересуванням машиніст локомотива не переконався у відсутності перешкод для руху	Через перешкоду, що спричинила виток небезпечного вантажу, сталося забруднення води озера	Недбале ставлення персоналу	Машиніст локомотива	Кількість аварійних ситуацій
2	Перевищення швидкості автоцистерни	Машиніст локомотиву перевищив швидкість, в результаті чого через неуважність пошкодив цистерну, і як наслідок стався виток небезпечного вантажу	Недбале ставлення персоналу	Машиніст локомотива	Кількість разів перевищення швидкості
3	Ракетний снаряд що пошкодив колію в результаті чого стався самовільний вихід цистерн.	Через ракетний снаряд, сталося пошкодження цистерни, що призвело до виток небезпечного вантажу.	Ракетний снаряд	Машиніст локомотива/ начальник залізничного парку	Кількість ракет
4	Ракетний снаряд що пошкодив колію в результаті чого стався самовільний вихід цистерн.	Під час пожежі вантажник не зміг швидко локалізувати займання і пожежа перекинулася на підприємство	Ракетний снаряд	Вантажник 1 категорії	Кількість аварійних ситуацій
5	Ракетний снаряд що пошкодив колію в результаті чого стався самовільний вихід цистерн.	Через ракетний снаряд, сталося пошкодження цистерни, через що стався витік небезпечного вантажу із займанням, що призвело до закриття руху інших поїздів	Ракетний снаряд	Машиніст локомотиву	Кількість аварійних ситуацій

Пріоритет ризику та небезпеки знаходимо за формулою 1:

$$P_{p.n} = O_{i.mov} O_{насл.} \quad (1)$$

де $O_{i.mov}$ – оцінка імовірності.

$O_{насл.}$ – оцінка наслідків.

Після чого розраховуємо оцінку імовірності ризику.

Для розробки та аналізу заходів попередження ризиків, було розглянуто організаційно-управлінську діяльність попередження потенційного ризику, де основними винуватцями є машиністи поїздів, а виконавцями та контролерами за виконанням заходів мінімізації настання ризиків.

На базі проаналізованих даних була запропонована стратегія з використанням комбінованого вагону моделі 19-795. та 19-795-01. Характеристики даного представлені у таблиці 4.

Таблиця 4

Технічні характеристики комбінованого вагону моделі 19-795. та 19-795-01.[25]

Технічні характеристики	
Вантажопідйомність, не більше, т	64,0
Об'єм кузова для сипучих вантажів, м ³	74,0
Об'єм кузова, м ³ для тарних вантажів	70,0
Маса тари, не більше, т	29,1
Розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)	230,5 23,5
База вагона, мм	11 500
Довжина вагона по осях автотцеплень, мм	16 620
Габарит по ГОСТ 9238	1-ВМ
Число люків:	
– завантажувальних	3
– розвантажувальних	6
Візок	18-7055
Конструкційна швидкість, км/год	120
Міжремонтний пробіг, км	210 000
Строк служби, років	26

Саме наявність такого вагону для дозволить мінімізувати вплив негативних наслідків на навколишнє природне середовище, під час виникнення аварійної ситуації при перевезення НВ залізничним транспортом і не тільки.

Даний вагон пропонується або поставити на аварійно-небезпечних ділянках залізничних

колій, або прикріпляти ці вагони до кожного поїзда, якщо у складі якого знаходяться вагони із рідкими НВ.

На рисунку 2 представлена схема оснащення вагонів для експлуатаційних потреб з необхідним обладнанням для локалізації та ліквідації наслідків аварійно-відновлювальних робіт.

Як видно з рис.2 вагонів для експлуатаційних потреб оснащується всім необхідним обладнанням для проведення локалізаційних та ліквідаційних робіт наслідків аварійних розливів емісій НВ. Металеві чушки потрібні у вагоні/цистерні, для того щоб він мав таку ж масу, що й інші вагони/цистерни і вразі чого не був стиснений під дією маси інших вагонів чи цистерн.

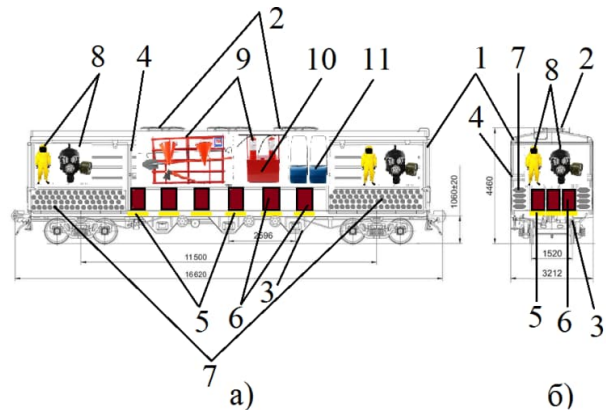


Рис. 2. Схема оснащення вагонів для експлуатаційних потреб необхідним обладнанням для локалізації та ліквідації наслідків аварійних розливів емісій НВ.

а) Вид вагону з боку; б) Вид вагону фронтально; 1 – Комбінований вагон моделі 19-795; 2 – завантажувальні люки; 3 – розвантажувальні люки; 4 – рухомі двері; 5 – піддоні європейського типу; 6 – контейнери для перевезення «USS»; 7 – металеві чушки; 8 – засоби індивідуального захисту; 9 – засоби протипожежної безпеки; 10 – бак з піском; 11 – катки для ущільнення ґрунту

Окремо хочеться наголосити, що оснащення вагону може змінюватись в залежності від маршруту або місця дислокації вагону, а також від потенційно-загрозливих небезпек, що представлені в попередньому розділі.

Тому можна сказати, що правильна оцінка виявлення тих чи інших причин, які можуть призвести до конкретних наслідків, що представлена в попередньому розділі, дозволить ефективно оснащувати вагони для експлуатаційних потреб, усім необхідним обладнанням.

Вагон пропонується оснащувати двома комплектами необхідного обладнання, так

як участь у локалізації та ліквідації аварійних наслідків буде ,брати більше ніж 1 людина.

Результати

Аналіз зони імовірного ураження представленої на рис. 1 показує, що там знаходяться такі об'єкти, що можуть значно посилити масштаб аварії:

- 1) Промислова зона;
- 2) Штучні озера;
- 3) Автомобільна дорога
- 4) Мережа залізничних колій

Аналіз причин виникнення аварійних ситуацій [1-23] вказує на те, що саме людський фак-

тор: порушення безпеки руху, маневрової роботи або невірне інформування перевізника про вантаж основною є причиною їх виникнення

Як було вище зазначено на основі ключа оцінювання шкали було розроблена карта ризиків ключової події (див. табл. 6).

Ця карта ризиків дає можливість виконати аналіз прямих та прихованих пріоритетів (див. табл.7, 8).

Таблиця 6

Карти ризиків ключової події (внутрішня експертна самооцінка)

		Наслідки внутрішнього середовища						Наслідки зовнішнього середовища						ΣН
		Н.1	Н.2	Н.3	Н.4	Н.5	ΣНВ	Н.6	Н.7	Н.8	Н.9	Н.10	ΣНЗ	
Причини внутрішнього середовища	П.1	80	90	60	65	65	360	30	65	35	75	65	270	630
	П.2	50	70	20	20	50	210	20	50	40	70	50	230	440
	П.3	50	90	20	20	50	230	30	10	10	50	40	140	370
	П.4	50	80	60	20	90	300	50	45	35	70	45	245	545
	П.5	30	70	70	80	85	335	70	60	35	70	75	310	645
	ΣПВ	260	400	230	205	340	1435	200	230	155	335	275	1195	
Причини зовнішнього середовища	П.6	40	30	10	10	20	110	30	60	40	60	55	245	355
	П.7	80	50	60	65	45	300	40	70	30	60	75	275	575
	П.8	30	80	40	60	35	245	30	10	10	40	40	130	375
	П.9	70	50	50	60	40	270	50	90	20	40	60	260	530
	П.10	90	90	55	70	90	395	55	90	45	85	80	355	750
	ΣПЗ	310	300	215	265	230	1320	205	320	145	285	310	1265	
ΣП	570	700	445	470	570		405	550	300	620	585		5215	

Таблиці 7

Результати зваженої оцінки пріоритету причин та наслідків.

Причина	Розрахункова вага	Пріоритет (ранг)	Наслідок	Розрахункова вага	Пріоритет (ранг)
П.1	0,12	2	Н.1	0,11	3
П.2	0,08	5	Н.2	0,13	1
П.3	0,07	6	Н.3	0,09	4
П.4	0,10	4	Н.4	0,09	4
П.5	0,12	2	Н.5	0,11	3
П.6	0,07	6	Н.6	0,08	5
П.7	0,11	3	Н.7	0,11	3
П.8	0,07	6	Н.8	0,06	6
П.9	0,10	4	Н.9	0,12	2
П.10	0,14	1	Н.10	0,11	3

Виявлені приховані пріоритети

Критерій порівняння:		Запропонована стратегія подолання ризику	
1	П1-Н2	0,070	Локомотивна бригада повинна проходити позапланові, повторні та цільові інструктажі, на яких детально розбираються вимоги безпеки під час роботи у аварійних ситуаціях
2	П5-Н9	0,073	
3	П10-Н1	0,070	Проведення інструктажів, контролю знань стосовно правил маневрової роботи, перевезення небезпечних вантажів в умовах ракетного обстрілу з детальним розбором усіх можливих наслідків НС
4	П10-Н7	0,071	
5	П10-Н10	0,069	

Найбільш вірогідними причинами виникнення аварійної ситуації є ракетний снаряд, що пошкодив колію в результаті чого стався самовільний вихід цистерн, перевищення швидкості локомотива, ожеледиця, що призвела до збільшення гальмівного шляху і аварії, а також через те що перед пересуванням цистерн не переконалися у відсутності перешкод для руху що в свою чергу може призвести до зупинки технологічного процесу, розливу вантажу та фінансових збитків.

Основним фактором ризику та причиною виникнення аварійної ситуації з небезпечним вантажем є внутрішнє середовище підприємства. Також маємо враховувати зовнішній ризик, який полягає у близькому розташуванні до нашого підприємства інших небезпечних об'єктів

(Електростанції, заводу, штучні озера) що можуть значно посилити масштаб аварії.

Доведено, що розташування поруч із залізницею таких об'єктів, як продуктопроводи, підприємства високого класу безпеки та природні охоронні об'єкти, може значно посилити масштаб та наслідки аварії.

Використовуючи імітаційне моделювання запропонованих сценаріїв попередження потенційного ризику (Чинники впливу; збиток інциденту, тис. грн.; аналіз заходів зменшення впливу та щорічних витрат на зменшення впливу, тис. грн.) по графіки 3 та 4. на яких демонструємо карту імовірнісної оцінки ризику (див. рис.3) та карту імовірнісної оцінки ефектів управління ризиком (див. рис. 4).

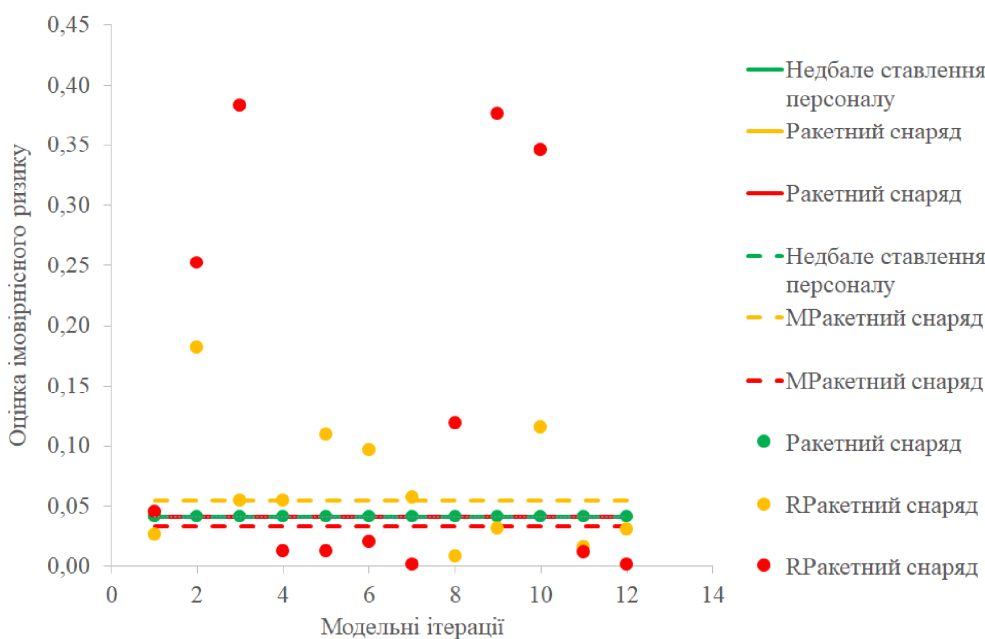


Рис. 3. Карта імовірнісної оцінки ризику

Аналізуючи скриті пріоритети ми можемо побачити із таблиці 8, що найбільш імовірнісний пріоритет має сценарій 2 «Перевищення швидкості».

Ризик за сценарієм 1 та 4 мають низький пріоритет та потребують загально-організаційних заходів управління.

Сценарій 3, 4, 5 мають невизначений результат через брак об'єктивних даних. Рекомендуємо уточнювати інформацію про кількість

ракет, їх траєкторію польоту та вести статистику кількості виникнення аварійних ситуацій. Це може дозволити до перегляду імовірнісних характеристик ризику

Чинник ракетний снаряд є в деяких випадках недооціненим, а в деяких випадках переоціненим. Чинник недбале ставлення персоналу оцінено вірно.

Сценарій 3 (наслідок через ракетний снаряд, сталося пошкодження цистерни, що призвело до витoku небезпечного вантажу)

є пріоритетним. Його імовірнісна характеристика знаходиться у 3 квартилі Паретто. Цей ризик потребує оперативного та постійного управління.

Чинник ракетний снаряд є в деяких випадках недооціненим з економічної точки зору, цей чинник має позитивну вартість та економічний зиск. Аналіз розмаху досить великий, потрібно вкладати капітальні витрати

Цей чинник є наразі дуже поширеним імовірнісним для настання, проте не передбачуваним, але його економічний ефект буде у плюсі. Стосовно чиннику недбалого ставлення працівників сценарій 1 (перед пересуванням вантажного поїзда машиніст не переконався у відсутності перешкод для руху), то він є не дуже поширеним, і імовірність його настання незначна, а економічний ефект там негативний, тобто збитковий.

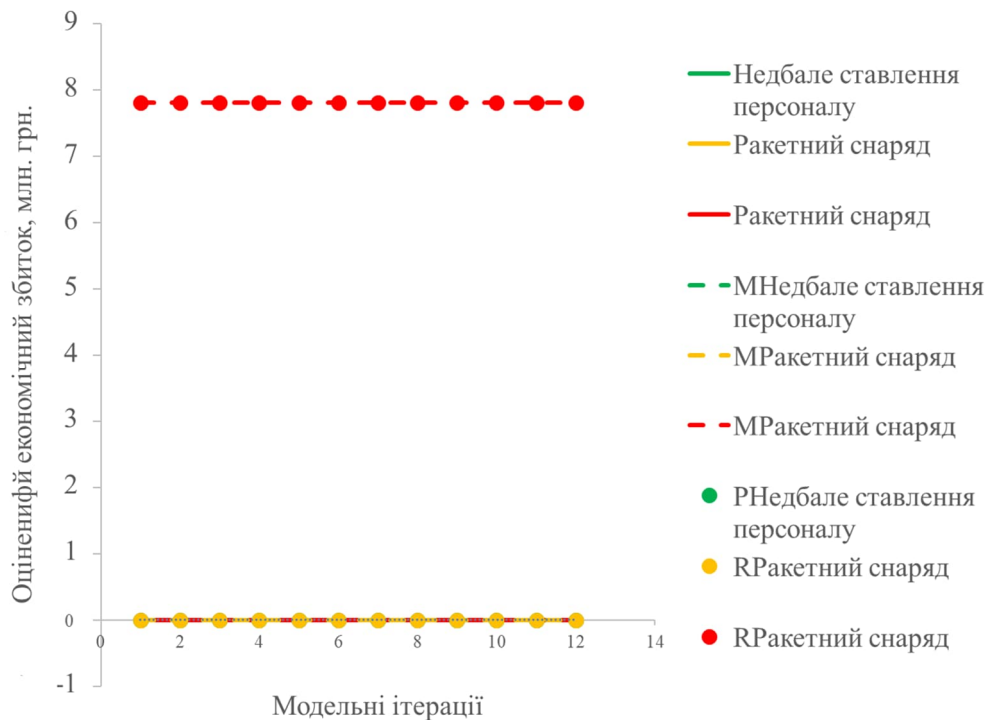


Рис. 4. Карта імовірнісної оцінки ефектів управління ризиком

Саме тому рекомендація звернути увагу на чинник ракетний снаряд, на сценарій 3 (наслідок через ракетний снаряд, сталося пошкодження цистерни, що призвело до витoku небезпечного вантажу) має стати пріоритетним, проте він має вирішуватися комплексно. Стосовно чиннику недбалого ставлення працівників то тут краще звернути увагу на другий сценарій(перевищення швидкості поїзда) який є пріоритетним серед обраних 5 чинників, і який на відміну від 1 сценарію (перед пересуванням вантажного поїзда машиніст не переконався у відсутності перешкод для руху) має позитивний економічний ефект. Як можна зрозуміти з представленої моделі оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації її можна використовувати

для підбору обладнання для оснащення вагонів для експлуатаційних потреб.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна полягає у аналізі оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації. Також у виявленні можливих причин та факторів виникнення аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом, з розробкою рекомендацій для їх зниження. Практична цінність у сфері безпеки полягає у зниженні ризиків на залізничному транспорті з точки зору не допущення виникнення ситуації, що загрожуватимуть екологічному стану довкілля і життєдіяльності людини, особливо в умовах військового стану, що відбува-

ється на теренах нашої країни, а також оновленні матеріально-технічних засобів ліквідації аварійних наслідків. Все це має привести до чіткої скоординованої та взаємопов'язаної роботи і відповідальності в системі «відправник-перевізник-одержувач».

Висновки

Мета та завдання що автори ставили перед собою, можна вважати виконаними на 100%. Авторами було зроблено:

1) на основі аналізу літературних джерел та карти ризиків ключової події події був проведений аналіз оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації

2) виявлено можливі причини та фактори виникнення аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом (попадання ракетного снаряду, ожеледиця, перевищення швидкості, перешкоди на залізничній колії)

3) розроблено рекомендацій для зниження ризиків виникнення аварійної ситуації (підвищення трудової дисципліни, контроль знань з безпеки руху та охорони праці)

4) побудовано графіки 3 та 4, на яких продемонстровано карту імовірнісної оцінки ризику та карту імовірнісної оцінки ефектів управління ризиком. (Сценарії 2 та 3 є найбільш пріоритетними а імовірнісними з точки зору настання, а от сценарії 1, 4, 5 ні.).

5) розробка пропозицій щодо удосконалення процесу локалізації та ліквідації аварійних розливів небезпечних вантажів, а саме:

– запропоновано використання окремих типів вагонів (комбіновані вагони моделей 19-795 та 19-795-01) для перевезення усього необхідного спеціального обладнання у складі вантажного потягу, що забезпечить зручний доступ до ліквідаційних матеріалів та зменшить витрати часу на ліквідаційні заходи за рахунок швидкого розгортання полотна до 30–35 хв.;

– використання «USS», вогнегасників, лопат а іншого спеціального обладнання як засобу локалізації та ліквідації аварійних розливів, що забезпечує швидкість розгортання ліквідаційних засобів, охоплення значної площі емісії та мінімізацію екологічних наслідків та втрат вантажу;

Зробивши висновки ми повинні зрозуміти наскільки це важливо вміти оцінювати всі ризики виникнення аварійних ситуацій, дотримуватись усіх правил безпеки, а також дослухатись до порад авторів, які можуть покращити стан справ у питаннях перевезення небезпечних

вантажів, їх локалізації, та ліквідації аварій при їх перевезенні.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Afonin Maksym. Change of drivers functional condition during dangerous goods transportation. *Transport Technologies*. 2022. Т. 1 (3). Р. 55–64.

2. Fornalchuk Y. Afonin M. Postranskyu T. Boikiv M. Risk Assessment during the Transportation of Dangerous Goods Considering the Functional State of the Driver. *Transp. Probl.* 2021. Т. 16. Р. 139–152.

3. Посібник для курсу спеціального навчання з питань перевезень небезпечних вантажів на залізничному транспорті. Ч. 1. Базовий курс : посібник / Ю. В. Зеленько, І. Л. Журавель, А. М. О कोरोков, О. М. Патласов, А. М. Бойченко, Г. І. Нестеренко. Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. 140 с.

4. Оцінка вимог інтеперабельності до українських вагонів-цистерн, які призначені для перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом / Я. Болжеларський, В. Джус, О. Джус, О. Клецька, О. Кіріцева. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2022. Вип. 44. С. 89–100. <https://doi.org/10.32782/2225-6733.44.2022.11>

5. Експертиза залізнично-транспортних пригод : навчальний посібник / М. І. Березовий, Д. М. Козаченко, Я. В. Болжеларський, Т. В. Болвановська, А. Р. Мілянич; Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2023. 187 с.

6. Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг : колективна монографія / В. М. Самсонкін, І. В. Ніколаєнко, Ю. В. Булгакова та ін. ; за ред. В. М. Самсонкіна та І. В. Ніколаєнко. Київ : Талком, 2021. 312 с.

7. Горобець В. Л., Козаченко Д. М., Вернигора Р. В. Інжиніринг криз та ризиків перевезення небезпечних речовин. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2022. № 24. <https://doi.org/10.15802/tstt2022/272063>

8. Зеленько Ю. В., Черкудінов В. Е., Левицька С. І. Концепція екологізації мультимодальних перевезень. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2022. № 24. <https://doi.org/10.15802/tstt2022/272065>

9. Зеленько Ю. В., Зеленько Д. М., Недужа Л. О. Вивчення негативного впливу нафтопродуктів на металеві елементи залізничної інфраструктури. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізн. трансп.* 2020. № 5 (89). С. 105–115.

10. Kozachenko D. M., Zhuravel I. L., Zhuravel V. V. Especially the Functioning of Railway Stations in the Conditions of the Organization of Transport Dangerous Goods. *Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна. Дніпропетровськ*, 2016. Вип. 12. С. 38–44. DOI: 10.15802/tstt2016/8595.

11. Запорожець О. І., Ковалець І. В., Кацман М. Д. Оцінювання наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами. Системи управління, навігації та зв'язку. 2017. №. 6. С. 224–232.

12. Lomotko D., Ohar O., Kozodoi D., Barbashyn V., Lomotko M. Prospects for the use “green” logistics as a safety factor in multimodal transportation of dangerous goods. AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2023. Т. 2684. №. 1. <https://doi.org/10.1063/5.0120066>

13. Lomotko D., Ohar O., Kozodoi D., Barbashyn V., Lomotko M. Efficiency of “Green” Logistics Technologies in Multimodal Transportation of Dangerous Goods. Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol 536. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_74

14. Кульова Д. О., Лаврухін О. В. Моделювання поїзних станів при просуванні поїздопотоків з небезпечними вантажами на основі абстрактних поїзних конструкцій. Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика : матеріали сімнадцятої міжнар. науково-практ. конф. (3-4 червня 2021р.). Харків : УкрДУЗТ, 2021. С. 42–43. Режим доступу: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/12660> (дата звернення: 20.02.2024).

15. Сорока М. Л., Яришкіна Л. О. Спосіб локалізації та ліквідації розливів забруднюючих речовин на твердих поверхнях та ґрунті при перевезенні небезпечних вантажів наземними видами транспорту. Патент України № 103705. 2013.

16. Сорока М. Л., Яришнік Л. А. Перспективи применения опалых листьев для целей локализации и сбора разливов нефтепродуктов [Електронний ресурс]. ВЕЖПТ. 2013. №6 (61). Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-opal-yh-listiev-dlya-tseley-lokalizatsii-i-sbora-razlivov-nefteproduktov> (дата звернення: 21.02.2024).

17. Soroka M. L., Yaryshkina L. A. Technology for the oil spills clean-up which provides preliminary

accumulation of sorbents into the area of emergence and localization oil spills. Science and Transport Progress. 2012. Vol. 42. P. 45–55. <https://doi.org/10.15802/stp2012/9275>

18. Fomin, O.V., & Lovska, A.O. Лослідження навантаженості несучої конструкції вагона-хопера двосекційного при перевезенні залізничним поромом. Транспортні системи і технології. 2012 (40), 5–13. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-1>

19. Drzewieniecka B., Nowak M. Safety Aspect in Carriage of Dangerous Goods by Railway Transport. New Trends in Production Engineering. 2018. Vol. 1. P. 35–41. <https://doi.org/10.2478/ntpe-2018-0004>

20. Conca A., Ridella C., Saponi E. Risk Assessment for Road Transportation of Dangerous Goods: A Routing Solution. Transportation Research Procedia. 2016. Vol. 14. P. 2890–2899. doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.407

21. Szaciłło L., Jacyna M., Szczepański E., Izdebski M. (2021). Risk assessment for rail freight transport operations. Eksploatacja i Niezawodność. 2021. Vol. 23(3). P. 476–488. doi:10.17531/ein.2021.3.8

22. Šolc M., Hovanec M. The Importance of Dangerous Goods. Naše more. 2015. Vol. 62. 4 p.

23. Borghetti F., Malavasi G. Road accessibility model to the rail network in emergency conditions. Journal of Rail Transport Planning & Management. 2016. Vol. 6, Is. 3. P. 237–254. doi: 10.1016/j.jrtpm.2016.10.001

24. Гугл карта [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://maps.app.goo.gl/zYxF2mkGo1oo6TxE8>

25. Комбінований вагон модель 19-795-01 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.kvsz.com/index.php/ua/produksiya/vantazhne-vagonobuduvannya/vagoni-khoperi/item/1957-kombinovanyi-vahon-model-19-795-01>. (дата звернення: 25.02.2024).

Надійшла до редколегії 11.03.2024.

Прийнята до друку 16.05.2024.

YU. V. ZELENKO, M. V. KALYMBET

ASSESSMENT OF RISKS AND PROVIDING RECOMMENDATIONS TO MINIMIZE THEIR OCCURRENCE DURING TRANSPORTATION OF CARGO BY RAIL TRANSPORT

Purpose: To assess the risks of emergency situations and provide recommendations for their minimization during the transportation of goods by rail transport. **Method.** On the basis of the methods of comparative typology, expert evaluations and system analysis for the route that runs through the industrial districts of Kryvyi Rih, using the methods of analysis of the causes and consequences of a key event, the combined diagram of the Ishikawa tree of a key event, risk maps of a key event, the analysis of hidden and direct priorities was determined indicator of the risk of the complex effect of negative factors of emergency situations during the transportation of heavy metals. **The results.** the authors identified the most likely causes of the emergency situation: 1) A rocket projectile that damaged the track, as a result of which the spontaneous exit of wagons occurred; 2) Exceeding the speed of a tank train; 3) Icy, which led to an increase in the braking distance and an accident; 4) Neglect of obstacles to movement before the movement of tanks, which in turn can lead to a stoppage of the technological process, cargo spillage and financial

losses. A probabilistic risk assessment was carried out on the basis of an expert assessment of the risk operator and measures to reduce the occurrence of emergency situations were proposed with annual costs for them, thousand UAH. After that, a map of probabilistic risk assessment and a map of probabilistic assessment of risk management effects were created, which provide an opportunity for effective management and management of the probable cause of an emergency situation and the selection of financial investments for measures to reduce the occurrence of emergency situations. After that, it was proposed to use the combined wagon model 17-975(01) with all the necessary equipment as a means for quick localization and liquidation of the consequences of spills of emissions of hazardous substances during their transportation by railway transport in the event of an accident. The economic feasibility of using the proposed tool was also substantiated. **The scientific novelty** consists in the created model for the analysis of the risk assessment of an emergency situation, as well as the identification of possible causes and factors of the occurrence of emergency situations during the transportation of dangerous goods by railway transport, as well as the development of recommendations for their reduction. **The practical significance** is the implementation of the developed recommendations, based on the created model, for the formation of a special wagon, for operational needs, with the selection of the necessary equipment for the rapid implementation of the 1st stage of localization and liquidation measures.

Keywords: risk assessment, analysis of causes and consequences, Ishikawa diagram, key event tree, environmental technologies, dangerous goods, localization of accidents, elimination of accidents, combined wagon model 17-975(01), the cost of transportation of a combined wagon.