

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

УДК 656.225.073.436:504.5

Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО^{1*}, М. В. КАЛИМБЕТ²

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

²Каф. «Хімія та інженерна екологія», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (093) 431 19 69, ел. пошта kalimbet.nicolay@gmail.com, ORCID 0000-0002-2209-6395

Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності взаємодії складових системи «відправник – перевізник – одержувач»

Мета. Дослідження спрямоване на розробку рекомендацій щодо підвищення ефективності роботи відповідних підрозділів системи «відправник – перевізник – одержувач» із забезпеченням безпеки на залізничному транспорті під час перевезення небезпечних вантажів або/та в разі виникнення аварійної ситуації. **Методика.** На основі графічних, аналітичних інструментів та за допомогою теорії вірогідності проведено аналіз оцінки виникнення аварійної ситуації. **Результати.** Шляхом побудови комбінованої діаграми Ісікави дерева ключової події та карти ризиків ключової події проведено аналіз оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації. Виявлено можливі причини та фактори виникнення аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом (влучання ракетного снаряда, ожеледиця, перевищення швидкості, перешкоди на залізничній колії). Розроблено рекомендації для зниження ризиків виникнення аварійної ситуації (співпраця АТ «Укрзалізниця» та відповідних центрів, що проводять спеціальне навчання з питань перевезення небезпечних вантажів, ефективна взаємодія всіх учасників системи «відправник – перевізник – одержувач», а також досконалий контроль за дотриманням правил безпеки). Подано пропозиції щодо вдосконалення процедури взаємодії відповідних підрозділів системи «відправник – перевізник – одержувач», що можуть бути задіяні в ліквідаційних заходах (використання універсальних сорбційних полотен (USC) для локалізації розливів небезпечних вантажів, використання як прикриття вагонів моделей 19–795 та 19–795–01 для перевезення USC, регенерація та повторне використання USC). **Наукова новизна.** Розроблено рекомендації для мінімізації негативних наслідків аварій на базі системного аналізу й оцінки ризиків їх виникнення під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом. **Практична значимість.** У сфері безпеки застосування цих рекомендацій сприятиме зниженню ризиків на залізничному транспорті з точки зору недопущення ситуацій, що загрожуватимуть екологічному стану довкілля й життєдіяльності людини, особливо в умовах воєнного стану, що має місце на теренах нашої країни, а також оновленню матеріально-технічних засобів ліквідації аварійних наслідків.

Ключові слова: оцінка виникнення ризиків; аналіз причин і наслідків; діаграма Ісікави; дерево ключової події; екологічні технології; небезпечні вантажі; локалізація аварій; ліквідація аварій; універсальне сорбційне полотно

Вступ

У наш час [3] у багатьох країнах світу, у тому числі в державах Євросоюзу та в Україні, зростає розуміння важливості вирішення глобальних проблем транспортних комплексів. Це перш за все пов'язано зі збільшенням процесів виготовлення продукції та обсягів перевезень

небезпечних вантажів. А це потребує підвищення безпеки та ефективності перевезень, зменшення впливу транспорту на навколишнє середовище.

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

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

так стрімко, як це потрібно. Іноді дуже складно аналізувати причини й наслідки виникнення аварійної ситуації. Саме тому розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності взаємодії в системі «відправник – перевізник – одержувач» є актуальним завданням.

Ефективність роботи відповідних підрозділів в разі виникнення аварійних ситуацій під час перевезень небезпечних вантажів досліджували як зарубіжні дослідники В. Drzewieniecka & M. Nowak [10], А. А. Conca [9], L. Szaciłło, M. Jасуна з колегами [12], M. Šolc, M. Novanec [11], F. Borghetti, G. Malavasi [8], так і вітчизняні науковці: Д. М. Козадою [8], О. В. Лаврухін [13], А. М. Огороков, В. М. Самсонкін [5] та багато інших. Отже, аналіз ефективності роботи відповідних підрозділів транспорту протягом багатьох років є предметом численних наукових публікацій по всьому світу.

Аналіз літературних даних свідчить про те, що ефективність ліквідаційних заходів залежать не тільки від методики, яку застосовують, а й пов'язана з відсутністю чіткої скоординованої роботи і відповідальності в системі «відправник – перевізник – одержувач», що також впливає на безпеку під час перевезень небезпечних речовин.

У роботах [8, 10, 12] розглянуто проблеми перевезення небезпечних вантажів та причини, що призводять до виникнення аварійних ситуацій. Так, у роботі [8] описано кількісну модель для аналізу доступності відкритих ділянок залізничної лінії в надзвичайних умовах із використанням дорожньої системи (Borghetti, 2014). У дослідженні [12] описано особливості формування ризику, пов'язаного з перевезенням небезпечних вантажів, для врахування якого потрібні стратегії та інструменти, що дозволять знизити рівень ризику для суспільства, власників та навколишнього середовища. Акцентовано на відсутності в тактичному та оперативному плануванні додатків для підтримки перевізників небезпечних вантажів.

У роботі [10] розглянуто проблему перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом та дотримання правил міжнародних перевезень, що регламентують дії всіх учасників. Проте питання, порушені дослідниками в роботах [8, 10, 12], розглянуто не в розрізі

функціональної системи «відправник – перевізник – одержувач», а як окремі її елементи, що ніяк не взаємодіють між собою. А це є актуальним завданням.

Мета

Ураховуючи вищезазначене, ми передбачаємо розробити рекомендації щодо підвищення ефективності роботи відповідних підрозділів системи «відправник – перевізник – одержувач» із забезпечення безпеки на залізничному транспорті під час перевезення небезпечних вантажів або/та в разі виникнення аварійної ситуації.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- 1) аналіз оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації;
- 2) виявлення можливих причин і факторів виникнення аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом;
- 3) розробка рекомендацій для мінімізації негативних наслідків у разі виникнення аварійної ситуації під час перевезення небезпечних вантажів окремих класів;
- 4) розробка пропозицій щодо вдосконалення процедури взаємодії відповідних підрозділів системи «відправник – перевізник – одержувач».

Методика

Ризики на залізничному транспорті розуміють як ймовірність втрат, збитків у процесі здійснення перевезень. Такі ризики характеризуються складністю та різноманітністю, тому їх необхідно класифікувати за окремими ознаками [5]. Найважливішими ознаками класифікації ризиків на залізничному транспорті є:

- об'єкт прояву;
- джерела виникнення;
- етапи транспортування;
- різновиди перевезень;
- можливість впливати на ризики;
- час виникнення;
- розмір збитків тощо.

Оцінка ризиків дозволяє організації враховувати, якою мірою події можуть вплинути на досягнення її цілей. Оцінка ризику складається з ідентифікації ризику, його аналізу та порівняль-

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

ної оцінки. Для цього використовують кількісні чи якісні методи або досить часто їх поєднання.

Під час оцінювання ризику існує проблема вибору, що стосується прийняття рішення щодо ризику небезпечної поведінки зі знанням того, що може статися аварія, або спробами обмежити, зменшити чи усунути ризик виникнення аварії відповідно до наявних умов. Також виявлено, що ризик на транспорті є поєднанням імовірності активації небезпечної події та спричинених у зв'язку з цим збитків.

Метод суб'єктивної оцінки та метод побудови дерева рішень є незамінними інструментами прогнозування та оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації, корегування роботи відповідних підрозділів з керування безпекою на залізничному транспорті під час перевезень небезпечних вантажів, коли неможливо точно аналізувати всі обставини чи проводити спостереження й вимірювання. Неповним вихідним даним тоді дають оцінку досвідчені експе-

рти. У результаті колективних обговорень і доповнень професійних знань експертів можна сформулювати досить точну оцінку досліджуваного явища, на базі якої сконструювати реальну модель цього явища.

Автори на основі графічних, аналітичних інструментів та за допомогою теорії вірогідності провели аналіз оцінки виникнення аварійної ситуації. Для цього спочатку було здійснено ідентифікацію небезпечного вантажу, оцінку потенційних ризиків перевезення та зберігання небезпечного вантажу у 1511 в умовах населеного міста, ідентифікацію потенційних сценаріїв небезпечної події. Автори обрали небезпечну речовину карбамід як таку, яку буде перевозити залізничний транспорт, для оцінки ризиків виникнення аварійних ситуацій. Оцінку ризиків виникнення аварійної ситуації проводили біля населеного пункту Кам'янське, а саме на залізничній станції Воскобійня з радіусом імовірного ураження 1,5 км (див. рис. 1).

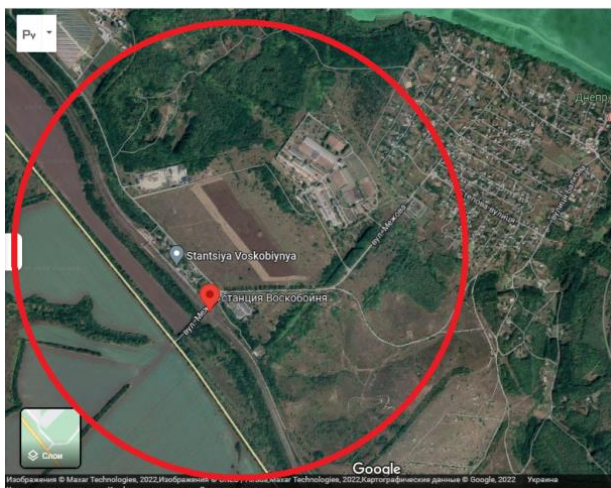


Рис. 1. Геопросторова характеристика залізничної станції Воскобійня, на якій проведено моделювання (червоне коло – це зона ймовірного ураження, що складає 1,5 км)

Fig. 1. Geospatial characteristics of the Voskobiinia railway station, where the simulation was carried out (the red circle is the zone of probable damage, which is 1.5 km)

Орієнтовна кількість небезпечного вантажу, яка умовно розлилась під час створення моделі, – це 160 т, тобто приблизно 2 цистерни з карбамідом. Ключова подія, яку було взято для моделювання, – це розгерметизація цистерн на під'їзних коліях через порушення правил маневрових робіт. Далі на основі аналізу при-

чин та наслідків ключової події було побудовано комбіновану діаграму Ісікави дерева ключової події (див. рис. 2), яка дає нам змогу виявити причинно-наслідкові зв'язки для більш точної оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

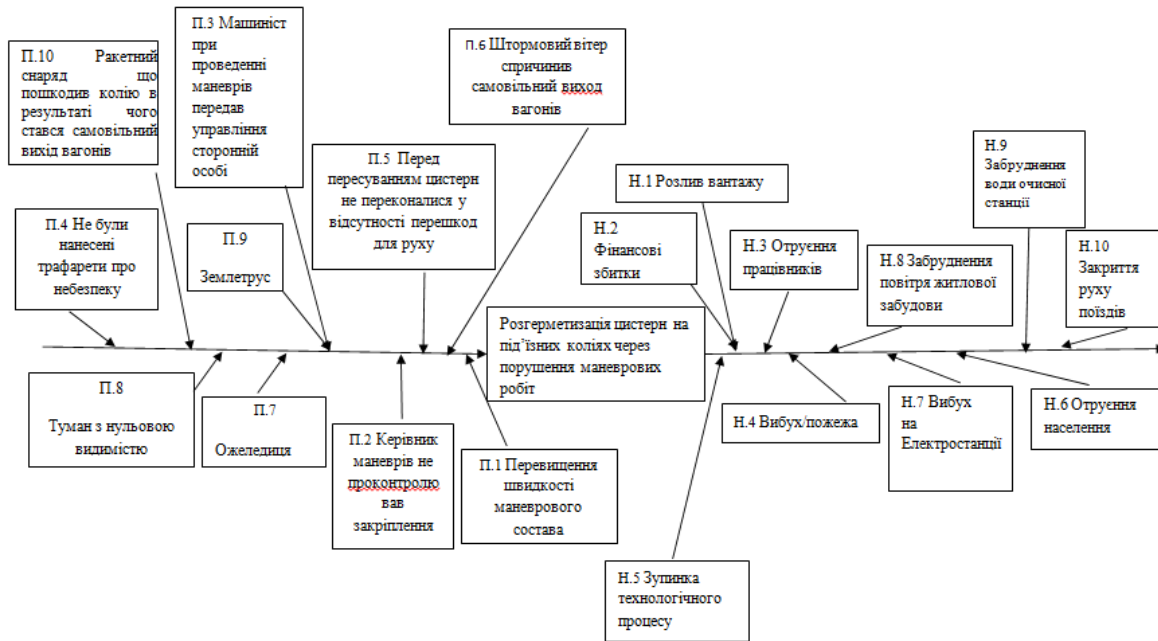


Рис. 2. Комбінована діаграма Ісікави дерева ключової події

Fig. 2. Combined Ishikawa diagram of the key event tree

Наступним кроком була розробка карти ризиків ключової події (внутрішня експертна самооцінка), у табл. 1 представлено ключ шкали оцінювання для цієї карти.

Далі ми проводили аналіз прямих і прихованих пріоритетів. Це дозволяє виробити основну стратегію та рекомендації щодо зниження ризиків виникнення аварійних ситуацій.

На базі проаналізованих даних запропоновано технологію з використанням універсального сорбційного полотна (USC), що не тільки підвищить рівень безпеки під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом, а й дозволить зменшити наслідки розливання небезпечних вантажів, якщо все ж таки виникла аварійна ситуація. Ця технологія базується на виготовленні універсального сорбційного полотна (USC), а також використанні його як засобу для локалізації та ліквідації наслідків аварійного розливання небезпечної речовини.

Варто зазначити, що сорбенти використовують для ліквідації аварійних наслідків тільки під час перевезення рідких небезпечних речовин. Саме тому ліквідація не всіх класів небезпечних вантажів сорбційними методами буде ефективною.

Ураховуючи акцент на економічність і технологічність ліквідаційних заходів, автори зорієтували увагу на розробці універсального сорбенту, який можна використовувати для локалізації та ліквідації аварійних наслідків під час перевезення деяких небезпечних вантажів таких класів:

- Клас 3 Легкозаймисті рідини;
- Клас 5.1 Речовини, що окислюють;
- Клас 5.2 Органічні пероксиди;
- Клас 8 Корозійні речовини.

Запропоновано використовувати сорбент у вигляді сорбційного полотна.

Використання сорбційного матеріалу є можливим у різних технологічних варіаціях. Перший варіант – це використання у вигляді дрібнозернистої фракції. Другий варіант – завантаження вугілля, у спеціальні кофри з фільтрувального матеріалу для виготовлення сорбційних бонів [6], сорбційних матів чи сорбційних подушок.

Найбільш перспективним із техніко-економічних міркувань виявилось використання у вигляді сорбційного полотна.

Розроблене універсальне сорбційне полотно (USC) характеризується щільністю 1 200 г/м²,

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

складається з універсального сорбенту з композитних матеріалів (відходи кави та деревинна стружка), а також мішковини, у яку засипають

універсальний сорбент із композитних матеріалів. Для виготовлення кофру застосовували фільтрувальну тканину ТГФ–8.

Таблиця 1

Ключ шкали оцінювання для карти ризиків ключової події

Table 1

Rating scale key for key event risk map

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

Тканина фільтрувальна поліпропіленова ТГФ–8 – це міцна, стійка до агресивного середовища тканина білого кольору з поліефірної нитки для фільтрації, характеризується щільністю 470 г/м² та температурним діапазоном від –100 °С до +90 °С. Використовується в гірничорудній, хімічній, будівельній промисловості. Склад – 100 % нитка ПП [7].

Запропоноване сорбційне полотно містить мішок із фільтрувальної тканини, кавові відходи (до 70 %), деревинна стружка (до 70 %), його щільність становить 1 200 г/м² і більше. Рекомендовані оптимальні розміри комірок сорбційного полотна – 200 × 250 мм.

Контактування сорбційного полотна відбувається спочатку поверхнею фільтрувальної тканини, а далі активованими продуктами карбонізації (сумішшю карбоніату кавових відходів та деревинної стружки).

Застосування запропонованого методу з використанням USC дозволить значно скоротити час на розгортання та реалізацію ліквідаційних заходів у разі емісії небезпечних вантажів під час аварії, перевезення їх будь-якими видами транспорту.

Результати

Аналіз зони ймовірного ураження, представленої на рис. 1, показує, що в ній знаходяться такі об'єкти, що можуть значно посилити масштаб і негативні наслідки аварії:

- 1) багатоквартирна житлова забудова;
- 2) будівлі соціального призначення;
- 3) водосховище;
- 4) землі сільськогосподарського призначення.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

Аналіз потенційних сценаріїв небезпечних подій та комбінованої діаграми Ісікави дерева ключової події представленої на рис. 2, вказує на те, що саме людський фактор – порушення безпеки руху, маневрової роботи або неправи-

льне інформування перевізника про вантаж – є основною причиною їх виникнення.

На основі ключа оцінювання шкали (табл. 1) було розроблено карту ризиків ключової події (табл. 2).

Таблиця 2

Карта ризиків ключової події (внутрішня експертна самооцінка)

Table 2

Key event risk map (internal expert self-assessment)

		Наслідки внутрішнього середовища						Наслідки зовнішнього середовища						ΣП
		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	1 435	200	230	155	335	275	1 195	
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	1 320	205	320	145	285	310	1 265	
	ΣН	570	700	445	470	570		405	550	300	620	585		5 215

Ця карта ризиків дає змогу провести аналіз прямих і прихованих пріоритетів (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Результати зваженої оцінки пріоритету причин і наслідків (прямі пріоритети)

Table 3

Results of a weighted assessment of the priority of causes and consequences (Direct priorities)

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

Продовження табл. 3
Continuation of Table 3

Причина	Розрахункова вага	Пріоритет (ранг)	Наслідок	Розрахункова вага	Пріоритет (ранг)
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

Таблиця 4

Виявлені приховані пріоритети

Table 4

Revealed hidden priorities

Критерій порівняння			Запропонована стратегія подолання ризику
1	П.1–Н.2	0,070	Локомотивна бригада повинна проходити позапланові, повторні та цільові інструктажі, під час яких детально ознайомитися з вимогами безпеки в поточній роботі та в аварійних ситуаціях.
2	П.5–Н.9	0,073	
3	П.10–Н.1	0,070	Проведення інструктажів, контролю знань щодо правил маневрової роботи, перевезення небезпечних вантажів в умовах ракетного обстрілу з детальним аналізом усіх можливих наслідків НС
4	П.10–Н.7	0,071	
5	П.10–Н.10	0,069	

Проаналізувавши результати виявлених прямих і прихованих пріоритетів, доходимо висновку, що найбільш вірогідними причинами виникнення аварійної ситуації є такі: ракетний снаряд, що пошкодив колію, у результаті чого сталося самовільне сходження вагонів із рейок; перевищення швидкості; ожеледиця, що призвела до збільшення гальмівного шляху.

Відповідно до схеми, процедура перевезення небезпечних вантажів, локалізації та ліквідації аварійних розливів відбувається таким чином. До локомотива 1 приєднують комбінований вагон 2 з контейнерами 3 з універсальними сорбційними полотнами 8. У разі виникнення аварійної ситуації під час перевезення рідкого небезпечного вантажу 10 з комбінованого вагона 2 дістають контейнери 3 з USC 8. Сорбційними полотнами 8 закидають зону утворення дзеркала 11 витоку 7, щоб запобігти

потраплянню небезпечного вантажу 10 у товщу ґрунту та зменшити зону ураження товщі ґрунту 9. Потім відпрацьовані сорбційні полотна 8 поміщають, назад у контейнери 3, а після прибуття локомотива 1 до місця його постійної дислокації сорбційні полотна 8 регенерують, і їх можна використовувати знову.

Таким чином, використання запропонованого універсального сорбційного полотна дозволяє локалізувати та/або ліквідувати рідкі небезпечні речовини 3, 5 й 8-го класів небезпеки на рівні адсорбційної активності більше ніж 90 %. Важливо зазначити, що дана методика використання USC під час масштабної аварії буде не ефективною, але у такому випадку сорбційне полотно можна застосовувати для локалізації небезпечної речовини до прибуття аварійно-ліквідаційних підрозділів.

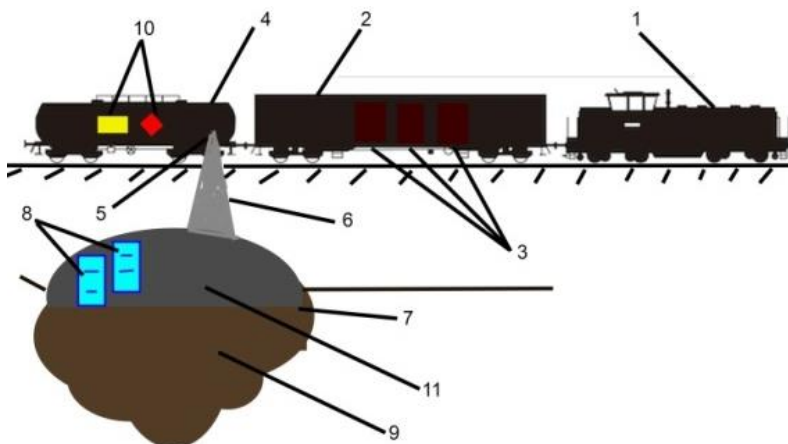


Рис. 3. Візуалізація процедури ліквідації наслідків аварії під час перевезення небезпечних вантажів (нафтопродуктів) [1, 2]:

- 1 – локомотив; 2 – вагон із сорбційним полотном (8); 3 – контейнери з сорбційним полотном (8); 4 – цистерна з рідким небезпечним вантажем (10); 5 – отвір, через який відбувається витік небезпечного вантажу (10); 6 – поверхневе стікання рідкого небезпечного вантажу (10) за рельєфом місцевості; 7 – зона утворення дзеркала витіку (11); 8 – сорбційне полотно; 9 – зона ураженої товщі ґрунту

Fig. 3 Visualization of the procedure for eliminating the consequences of an accident during the transportation of dangerous goods (petroleum products) [1, 2]:

- 1 – locomotive; 2 – wagon with sorption cloth (8); 3 – containers with sorption cloth (8); 4 – tank with liquid dangerous cargo (10); 5 – hole through which leakage of dangerous cargo occurs (10); 6 – surface flow of liquid dangerous cargo (10) according to the topography of the area; 7 – zone of leakage mirror formation (11); 8 – sorption cloth; 9 – zone of the affected soil layer

Реалізація представленої технологічної схеми дозволяє отримати оперативний доступ до ліквідаційних матеріалів у зоні утворення й локалізації розливу, та і в значній мірі зекономити час на організацію забезпечення необхідними матеріалами.

Високу ефективність запропонованого методу забезпечує вибір відповідного сорбенту. Як зазначено вище, ефективний вибір сорбенту є складним організаційним завданням, яке важко реалізувати в оперативних умовах проведення ліквідаційних заходів. Представлена технологічна схема дозволяє вирішити цю проблему завчасно: вибір, придбання й накопичення сорбентів відбувається задовго до виникнення аварійної емісії.

Як видно на схемі, сорбційне полотно заплановано перевозити у вагоні одразу за локомотивом. Щоб не використовувати додатковий вагон, сорбційне полотно передбачено перевозити в так званих вагонах прикриття, які встановлюють між рухомих складом та локомотивом (відповідно до рекомендованих нормами

прикриття). Для перевезення сорбційних полотен запропоновано використовувати комбіновані вагони моделей 19–795 та 19–795–01 (рис. 4).

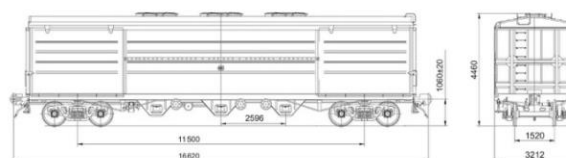


Рис. 4. Вигляд комбінованих вагонів моделей 19–795 та 19–795–01 [3]

Fig. 4. View of combined wagons models 19–795 and 19–795–01 [3]

Ці вагони призначені для перевезення по всій мережі залізниць із колією 1 520 мм сипких вантажів із завантаженням через верхні люки й гравітаційним розвантаженням у міжрейковий простір через нижні розвантажувальні люки.

Технічні характеристики вагона представлені в табл. 5.

Таблиця 5
Технічні характеристики вагона (за [3])

Table 5

Technical characteristics of the car (according to [3])

Технічні характеристики	
Вантажопідйомність, не більше, т	64,0
Об'єм кузова для сипких вантажів, м ³	74,0
Об'єм кузова для тарних вантажів, м ³	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 автозчеплень, мм	16 620
Габарит за 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

Комбіновані вагони моделей 19–795 та 19–795–01 було обрано тому, що вони мають не тільки завантажувальні верхні та розвантажувальні нижні люки, а й бокові двері, через які також можна завантажувати та вивантажувати сорбційне полотно.

До того ж ці вагони виготовляє ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», один із національних виробників, що значно спрощує логістику з їх закупівлі й доставки на місце експлуатації.

Також додатково проаналізовано динамічні характеристики комбінованого вагона у складі поїзда, що довело можливість його викорис-

тання як вагона-прикриття без впливу на характеристики рухомого складу.

Після використання сорбційних полотен їх необхідно регенерувати для повторного використання або утилізувати.

Існує багато методів регенерації, проте найбільш перспективною є механічна обробка (віджимання) полотна. Хоча ефект від такої регенерації невеликий і сягає < 40 %, цей метод не потребує значних фінансових затрат і дозволяє повторне використання сорбційного полотна й мінімізацію втрати вантажу.

У деяких випадках, у тому числі й після багаторазового використання, сорбційні полотна потрібно буде утилізувати як відходи, беручи до уваги їх клас небезпеки за Державним класифікатором відходів 005–96. Утилізацію відходів (сорбційних полотен) як одного з економічних методів можна проводити такими способами:

1. Поховання у ґрунті. Для цього потрібно забезпечити дренажні канали. Щоб переробка нафтоокисними бактеріями пройшла успішно, потрібно перевірити кислотно-лужний баланс ґрунту.

2. Поховання на сміттєзвалищах.

3. Спалювання. Найчастіше зібрані нафтопродукти змішують із вугіллям, яке використовують на ТЕЦ.

Зараз існує багато компаній, які відповідно до нормативних вимог мають право на проведення утилізації відходів та до яких може звернутись АТ «Укрзалізниця» щодо утилізації сорбційних полотен.

Наукова новизна та практична значимість

Розроблено рекомендації щодо мінімізації негативних наслідків аварій на базі системного аналізу й оцінки ризиків їх виникнення під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом. Практичне застосування цих рекомендацій сприятиме зниженню ризиків на залізничному транспорті з точки зору недопущення ситуацій, що загрожуватимуть екологічному стану довкілля та життєдіяльності людини, особливо в умовах воєнного стану, що має місце на теренах нашої країни, а також онов-

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

лення матеріально-технічних засобів для ліквідації аварійних наслідків. Усе це має призвести до чіткої скоординованої та взаємопов'язаної роботи й відповідальності в системі «відправник – перевізник – одержувач».

Висновки

Мету й завдання дослідження реалізовано шляхом розробки та впровадження таких науково-технічних рішень:

1) на основі комбінованої діаграми Ісікави дерева ключової події та карти ризиків ключової події проведено аналіз оцінки ризиків виникнення аварійної ситуації;

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

3) розроблено рекомендації для зниження ризиків виникнення аварійної ситуації (співпраця АТ «Укрзалізниця» та відповідних центрів, що проводять спеціальне навчання з питань перевезення небезпечних вантажів, ефективна взаємодія всіх учасників системи «відправник – перевізник – одержувач», а також досконалий контроль за дотриманням правил безпеки);

4) розробка пропозицій щодо вдосконалення процедури взаємодії відповідних підрозділів

системи «відправник – перевізник – одержувач», що можуть бути задіяні в ліквідаційних заходах, а саме:

– використання USC як засобу локалізації та ліквідації аварійних розливів, що забезпечує швидкість розгортання, охоплення значної площі емісії та мінімізацію екологічних наслідків і втрат вантажу;

– використання окремих типів вагонів (комбіновані вагони моделей 19–795 та 19–795–01) для перевезення USC у складі вантажного потяга, що забезпечить зручний доступ до ліквідаційних матеріалів і зменшить витрати часу на ліквідаційні заходи за рахунок швидкого розгортання полотна – до 30–35 хв;

– регенерація та повторне використання відпрацьованого полотна (віджимання USC за допомогою механічних методів, при цьому кількість виділеної із сорбційного полотна речовини складає 10–40 %).

Отримані результати сприятимуть мінімізації негативних наслідків під час перевезення небезпечних вантажів та підвищенню безпеки інфраструктури. Розвиток досліджень у цьому напрямі може полягати в удосконаленні технологій локалізації і ліквідації аварійних розливів небезпечних вантажів та оптимізації виготовлення і застосування USC як економічно вигідного високоефективного сорбційного матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Козодой Д. С., Барбашин В. В. Оцінка надзвичайних подій під час перевезення небезпечних вантажів у контексті техногенного навантаження регіонів. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 3 (75). С. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/134347>
2. Зеленько Ю. В., Калимбет М. В. Виготовлення сорбційного полотна з композитних матеріалів як засіб для ліквідації розливів небезпечних речовин на транспорті. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія : Транспортні системи і технології*. 2021. Вип. 38. С. 24–35. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-38-24-3>
3. Зеленько Ю. В., Калимбет М. В. Удосконалення методу ліквідації розливів небезпечних речовин шляхом використання «універсального сорбційного полотна». *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2022. Т. 4, № 10 (118). С. 30–37. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263583>
4. *Комбіновані вагони моделей 19-795 та 19-795-01*. URL: <https://cutt.ly/1NAm048>
5. Самсонкін В. М., Ніколаєнко І. В., Булгакова Ю. В., Вернигора Р. В., Гненний О. М., Горобець В. Л., ... Юрченко О. *Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг* : колективна монографія. Київ : Талком, 2021. 312 с.
6. Сорока М., Ярышкина Л. Технология ликвидации разливов нефтепродуктов с превентивным накоплением сорбентов в зоне образования и локализации разлива. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2012. Т. 42. С. 45–55. DOI: <http://stp.diit.edu.ua/article/view/9275/8035>

7. *Ткань фильтровальная ТГФ-8 (56035)*. URL: <https://cutt.ly/JNAvCRK>
8. Borghetti F., Malavasi G. Road accessibility model to the rail network in emergency conditions. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2016. Vol. 6. Iss. 3. P. 237–254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2016.10.001>
9. 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: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.407>
10. Drzewieniecka B., Nowak M. Safety Aspect in Carriage of Dangerous Goods by Railway Transport. *New Trends in Production Engineering*. 2018. Vol. 1. Iss. 1. P. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.2478/ntpe-2018-0004>
11. Šolc M., Hovanec M. The Importance of Dangerous Goods Transport by Rail. *Naše More*. 2015. Vol. 62. Iss. 3. P. 181–186. DOI: <https://doi.org/10.17818/nm/2015/si17>
12. Szaciłło, L., Jacyna, M., Szczepański, E., Izdebski, M. Risk assessment for rail freight transport operations. *Eksploatacja i Niezawodność*. 2021. Vol. 23. Iss. 3. P. 476–488. DOI: <https://doi.org/10.17531/ein.2021.3.8>
13. Panchenko S., Lavrukhin O., Shapatina O. Creating a qualimetric criterion for the generalized level of vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 1, No. 3 (85). P. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92203>

Y. V. ZELENKO^{1*}, M. V. KALYMBET²

¹Dep. «Chemistry and Ecological Engineering», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 774 04 64, e-mail j.v.zelenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-5551-0305

²Dep. «Chemistry and Ecological Engineering», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 431 19 69, e-mail kalimbet.nicolay@gmail.com, ORCID 0000-0002-2209-6395

Development of Recommendations for Improving the Interaction Efficiency Between the Components of the «Sender-Carrier-Recipient» System

Purpose. The study is aimed at developing recommendations for improving the efficiency of the relevant units of the «sender-carrier-recipient» system for correcting their work on railway safety management during the transportation of dangerous goods and/or during an emergency situation. **Methodology.** On the basis of graphic, analytical tools and with the help of the probability theory, the assessment of the emergency situation occurrence was analyzed. **Findings.** On the basis of the combined Ishikawa diagram of the key event tree and the risk map of the key event, an analysis of the risk assessment of the emergency situation was carried out. Possible causes and factors of the occurrence of emergency situations during the transportation of dangerous goods by railway transport (hit by a missile, ice, speeding, obstacles on the railway track) were identified. Recommendations have been developed to reduce the risks of an emergency situation (cooperation between Ukrzaliznytsia PJSC and relevant centers that conduct special training on the transportation of dangerous goods, effective interaction of all participants in the «sender-carrier-recipient» system, as well as perfect control over compliance with the rules. Development of proposals for improving the procedure of interaction between the relevant units of the «sender-carrier-recipient» system, which can be involved in liquidation measures (Using universal sorption cloth (USC) for localization of spills of dangerous goods, using wagons of models 19- 795 and 19–795–01 for transportation of USC, regeneration and reuse of USC.). **Originality.** Specific recommendations for minimizing the negative consequences of accidents based on a systematic analysis and assessment of the risks of an emergency situation during the transportation of dangerous goods by railway transport were developed. **Practical value.** In the field of security the application of these recommendations will contribute to the reduction of risks in railway transport from the point of view of preventing the occurrence of a situation that would threaten the ecological state of the environment and human life, especially in the conditions of a state of war taking place on the territory of our country, as well as the renewal of material and technical means of liquidation of accident consequences.

Keywords: risk occurrence assessment; analysis of causes and consequences; Ishikawa diagram; key event tree; environmental technologies; dangerous goods; localization of accidents; elimination of accidents; universal sorption cloth

REFERENCES

1. Buts, Y. V., Krainyuk, E. V., Kozodoy, D. S., & Barbashin, V. V. (2018). Evaluation of emergency events at the transportation of dangerous goods in the context of the technogenic load in regions. *Science and Transport Progress*, 3(75), 27-35. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/134347> (in Ukrainian)
2. Zelenko, J., & Kalimbet, M. (2021). Production of the sorption sheet from composite materials as a liquidation agent for spill response of hazardous materials on transport. *Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series «Transport Systems and Technologies»*, 1(38), 24-35. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-38-24-3> (in Ukrainian)
3. Zelenko, Y., & Kalimbet, N. (2022). Improving a method for eliminating the spill of hazardous substances by using «Universal Absorbent Cloth». *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10(118)), 30-37. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263583> (in Ukrainian)
4. *Kombinovani vahony modelei 19-795 ta 19-795-01*. Retrieved from <https://cutt.ly/1NAm048> (in Ukrainian)
5. Samsonkin, V. M., Nikolaienko, I. V., Bulhakova, Yu. V., Vernyhora, R. V., Hnennyi, O. M., Horobets, V. L., ... & Yurchenko, O. (2021). *Inzhynirynh kryz ta ryzykiv transportnykh posluh: kolektyvna monohrafiia*. Kyiv: Talkom. (in Ukrainian)
6. Soroka, M., & Yaryshkina, L. (2012). Technology for the oil spills clean-up which provides preliminary accumulation of sorbents into the area of emergence and localization oil spills. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 42, 45-55. DOI: <http://stp.diit.edu.ua/article/view/9275/8035> (in Russian)
7. *Tkan filtrovalnaya TGF-8 (56035)*. Retrieved from <https://cutt.ly/JNAvCRK> (in Russian)
8. Borghetti, F., & Malvasi, G. (2016). Road accessibility model to the rail network in emergency conditions. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 6(3), 237-254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2016.10.001> (in English)
9. Conca, A., Ridella, C., & Saponi, E. (2016). A Risk Assessment for Road Transportation of Dangerous Goods: A Routing Solution. *Transportation Research Procedia*, 14, 2890-2899. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.407> (in English)
10. Drzewieniecka, B., & Nowak, M. (2018). Safety Aspect in Carriage of Dangerous Goods by Railway Transport. *New Trends in Production Engineering*, 1(1), 35-41. DOI: <https://doi.org/10.2478/ntp-2018-0004> (in English)
11. Šolc, M., & Hovanec, M. (2015). The Importance of Dangerous Goods Transport by Rail. *Naše More*, 62(3), 181-186. DOI: <https://doi.org/10.17818/nm/2015/si17> (in English)
12. Szaciłło, L., Jacyna, M., Szczepański, E., & Izdebski, M. (2021). Risk assessment for rail freight transport operations. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 23(3), 476-488. DOI: <https://doi.org/10.17531/ein.2021.3.8> (in English)
13. Panchenko, S., Lavrukhin, O., & Shapatina, O. (2017). Creating a qualimetric criterion for the generalized level of vehicle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3(85)), 39-45. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92203> (in English)

Надійшла до редколегії: 23.02.2022

Прийнята до друку: 20.06.2022