

## ЗАСТОСУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ ПОЇЗДІВ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПОДІЙ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ВАНТАЖАМИ

Проаналізовано основні наслідки транспортних подій за участю небезпечних вантажів, їх вплив на екологічний стан довкілля і транспортну інфраструктуру, а також розглянуто основні заходи щодо підвищення ефективності застосування пожежних поїздів з ліквідації таких наслідків

**Ключові слова:** транспортна подія, екологічна безпека, пожежний поїзд.

**Актуальність теми.** Проблемі підвищення рівня безпеки перевезень пасажирів і вантажів приділяють значну увагу під час реалізації Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 рр. та Програми економічних реформ України на 2010-2014 рр. Основною складовою такої проблеми є забезпечення пожежної безпеки рухомого складу й об'єктів інфраструктури залізничного транспорту та екологічної безпеки навколишнього середовища. З метою запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру в Міністерстві інфраструктури успішно діє функціональна підсистема "Сили і засоби реагування на надзвичайні ситуації на залізничному транспорті", до складу якої входять 64 існуючі в Україні пожежні поїзди.

Функціональна підсистема є складовою частиною єдиної державної системи, яку створено з метою вироблення механізму взаємодії з відповідними силами та засобами, які здійснюють у межах своєї компетенції нагляд за безпекою руху, організовують проведення роботи із запобіганням надзвичайних ситуаціям техногенного та природного походження і реагування в разі їх виникнення, для захисту персоналу та довкілля, зменшення матеріальних витрат, а також забезпечення сталого функціонування залізничного транспорту [1]. Отож, проблемі ефективного застосування сил і засобів такої функціональної підсистеми, зокрема, пожежних поїздів та їх оснащення, приділяє значну увагу керівництво Укрзалізниці.

**Постановка проблеми.** Аналіз аварійних ситуацій, які відбувалися на залізничному транспорті при перевезенні небезпечних вантажів показує, що кожна аварія може мати два принципових варіанти розвитку [2, 3]:

- 1) аварія без пожежі (перекидання вагону, сходження з рейок, пошкодження упаковки, розсипання, витікання або розливання вантажів тощо);
- 2) аварія, яка супроводжується пожежею (горіння вагону, цистерни, контейнера горіння продукту, що витікає або розливається, горіння інших вагонів та стаціонарних споруд та ін.).

Небезпечні вантажі мають широкий спектр загроз щодо безпеки довкілля як аварій без пожежі, так і аварій, що супроводжуються їх горінням.

Досвід ліквідації залізничних аварій показує, що своєчасне зосередження сил і засобів на місці аварії значно зменшує збитки від них, а також негативний вплив на екологію довкілля: атмосферу, ґрунт, підземні та поверхневі води тощо. З урахуванням цього, настає проблема раціонального розташування по-

жежних поїздів у межах залізниць та їх ефективного оснащення необхідними засобами пожежогасіння, локалізації забруднень, нейтралізації і дегазації.

**Попередні дослідження та вивчення літератури.** Цю проблему розглянуто у багатьох нормативних документах та законодавчих актах і широко обговорено в науковій та науково-практичній літературі і пресі [1-7].

Отже, постає *наукова задача* щодо аналізу впливу наслідків залізничних транспортних подій за участю небезпечних вантажів на екологічний стан довкілля і транспортну інфраструктуру, а також ефективного застосування пожежних поїздів для ліквідації наслідків таких транспортних подій.

**Розв'язання задачі.** Дослідження залізничних транспортних подій показує, що обстановка, яка складається при цьому на станціях і перегонах, характеризується [2-5]:

- скупченням великої кількості рухомого складу з різноманітними вантажами;
- швидким розповсюдженням полум'я всередині вантажних вагонів, перехід полум'я на сусідні вагони, цистерни, будівлі та споруди;
- вибухом та інтенсивним горінням залізничних цистерн із вантажами різних класів безпеки;
- виливом легкозаймистих, горючих, отруйних та інших токсичних рідин із цистерн та утворення загазованих зон на прилеглий території;
- наявністю загрози людям, які знаходяться у сусідніх вагонах, що горять, а також виробничому персоналу та населенню, виникнення паніки;
- наявністю великої кількості залізничних колій, інтенсивного руху поїздів та локомотивів, який не можливо припинити;
- складністю встановлення виду речовини та матеріалів, які горять і знаходяться у сусідніх вагонах;
- обмеженою кількістю під'їздів і підступів до рухомого складу, який горить, та складні умови прокладання рукавних ліній;
- відсутністю або віддаленістю джерел водопостачання;
- наявністю контактних мереж, що знаходяться під великою напругою;
- значним забрудненням довкілля: атмосфери, ґрунту, підземних та поверхневих вод.

У разі аварій на залізничному транспорті, які супроводжуються горінням небезпечних вантажів, можливе ураження людей такими небезпечними факторами:

- безпосередня дія вогню;
- теплове випромінювання вогневих куль та розливів, що горять;
- повітряна ударна хвиля вибухів хмар паливно-повітряних сумішей;
- механічна дія осколків, які утворюються під час вибуху цистерни;
- токсична дія вантажів, парів, газів та аерозолів.

Причинами аварійних ситуацій можуть бути:

- пошкодження вагону;
- пробій корпусу цистерни внаслідок зіткнення;
- відмова запірної арматури;
- схід вагонів з рейок із розливанням та викиданням небезпечних вантажів;
- розрив та розгерметизація трубопроводу на зливно-наливній естакаді, який з'єднує цистерну з резервуаром;
- розгерметизація та зрив кутового вентиля цистерни тощо [2].

У процесі аварії без пожежі можливе утворення таких небезпечних зон, як: вибухонебезпечна зона загазування у разі розливів та витоків, зона розливу та зона розповсюдження токсичних продуктів з уразливими концентраціями. Досвід ліквідації великих аварій і катастроф показує, що розміри вибухонебезпечних зон внаслідок розливів та витоків на сортувальній станції можуть сягати до 330 м, а висота вибухонебезпечної зони – до 10 м.

Площа аварійного розливу від однієї цистерни зі зрідженими вуглеводневими газами та легкозаймистими рідинами залежить від метеоумов, стану баласту, ухилу колії, рельєфу місцевості та може становити 160-300 м<sup>2</sup>.

Площа розливу легкозаймистих та горючих рідин на станціях залежить від місця аварії та кількості цистерн, які отримали пошкодження. Для найбільш несприятливих сценаріїв аварії площі розливу можуть бути [3, 4]:

- для станцій, на яких здійснюються накопичення та транспортування таких рідин – 3000 м<sup>2</sup>;
- для інших станцій – 1500 м<sup>2</sup>.

Імовірні зони розповсюдження хмар деяких токсичних речовин з вражаючими концентраціями на відкритій місцевості залежать від маси розливу рідини, швидкості вітру і стану атмосфери та можуть сягати кількох кілометрів. У разі аварії, яка супроводжується пожежею (вибухом), можливе утворення таких небезпечних зон:

- зона дії повітряної ударної хвилі (надлишкового тиску) внаслідок вибуху хмари паливо-повітряної суміші;
- зона безпосередньої дії полум'я;
- зона дії теплового випромінювання розливів зріджених вуглеводневих газів, легкозаймистих рідин, горючих рідин та вогняних куль;
- зона дії уламків (осколків) зруйнованих цистерн.

Небезпечні радіуси надлишкового тиску ударної хвилі вибухів паливо-повітряних сумішей у разі аварій зі зрідженими вуглеводневими газами можуть сягати для людей до 1800 м, для техніки – до 450 м. Небезпечні радіуси зон дії теплового випромінювання у разі аварій за участю зріджених вуглеводневих газів та утворенням вогняної кулі сягають для людей до 300 м, для техніки – 120 м.

Небезпечні радіуси зон дії теплового випромінювання пожеж під час горіння розливів зріджених вуглеводневих газів, легкозаймистих рідин та горючих рідин становлять: внаслідок розливу зріджених вуглеводневих газів з однієї цистерни для людей 80 м, для техніки – 40 м; у разі розливу легкозаймистих та горючих рідин з однієї цистерни для людей 60 м, для техніки – 35 м; внаслідок розливу зріджених вуглеводневих газів з двох та більше цистерн радіус небезпечної зони для людей 120 м, для техніки – 55 м.

Найімовірніша аварійна ситуація – руйнування однієї цистерни. Тому за безпечну відстань в цій ситуації приймають відстані від 80 м та більше для людей та від 40 м й більше для техніки. Зона розльоту осколків (уламків) у разі вибуху цистерни становить до 150 м, а в окремих випадках – до 450 м. Зафіксовано випадки, коли вибух зриває цистерну з рами та відкидає її на відстань до 80 м. Розміри розливів, а також розміри вибухонебезпечних

зон у разі витоків зріджених вуглеводневих газів та легкозаймистих рідин визначають розміри можливої пожежі після займання або вибуху хмари паливо-повітряної суміші.

Більш інтенсивно розвивається пожежа внаслідок розливу зріджених вуглеводневих газів з залізничних цистерн у випадку аварій, зіткнення або катастроф поїздів. При цьому цистерни перекидаються та ушкоджуються, внаслідок чого загальна площа пожежі може становити 10 тис. м<sup>2</sup>. Характерною особливістю таких пожеж є значна швидкість збільшення площі горіння. Звичайно вона становить близько 330 м<sup>2</sup>/хв., а інколи може сягати 1000 м<sup>2</sup>/хв.

У разі розливів легкозаймистих рідин із залізничних цистерн, які сталися внаслідок аварії, зіткнення та катастрофи, по розлитому нафтопродукту горіння може розповсюджуватися не тільки на сусідні поїзди, але й на найближчі будівлі, а внаслідок попадання такого нафтопродукту в каналізацію або стічні канами – на об'єкти, які розташовані на відстані до 1 км. Швидкість розповсюдження полум'я по розлитому нафтопродукту становить 15-25 м<sup>2</sup>/хв. та може збільшитись в окремих випадках до 40 м<sup>2</sup>/хв. Під час організації ліквідації наслідків аварій цистерн зі зрідженими вуглеводневими газами необхідно також враховувати й такі специфічні особливості:

- за температури доквілля вміст цистерни зазвичай є двофазним середовищем (рідина-пар) з тиском, який перевищує атмосферний (іноді у 7-8 разів);
- розгерметизація цистерни в будь-якому її місці призводить до витоків рідкого та (або) пароподібного середовища з утворенням у доквіллі вибухонебезпечної пароповітряної хмари;
- внаслідок витоків рідкої фази, одна її частина (у деяких випадках до 40 %) миттєво випаровується, інша частина утворює "дзеркало розливу" з якого відбувається інтенсивне випаровування продукту;
- продукти, що перевозяться, є займистими речовинами, мінімальні енергії займання їх пари з повітрям є дуже низькі. Виходячи з цього, найбільш вірогідним завершенням аварії з розгерметизацією цистерни є займання через деякий час речовини, що витікає з цистерни;
- згоряння вибухонебезпечних пароповітряних хмар (паливно-повітряних сумішей) може призводити до утворення ударних хвиль та надалі – до руйнування навколишніх об'єктів;
- після нагрівання цистерни зі зрідженими вуглеводневими газами у вогнищі пожежі відбувається підвищення температури рідини з відповідним збільшенням тиску парів усередині ємкості, а також збільшення температури стінок цистерни, особливо у верхній її частині, яка не омивається рідкою фазою. Запобіжні клапани не встигають стравлювати газ і тому через 15-25 хв цистерна руйнується з вибухом, викидом полум'я на висоту до 150 м та утворенням нових вогнищ горіння на відстані до 150 м.

При впливі зовнішньої пожежі на неушкоджений вагон, віддалений від осередку пожежі на відстань більше ніж 10 м, час стійкості вагону визначено з таблиці [5].

Дослідження пожеж показує, що на період зосередження сил і засобів для гасіння пожежі припадає найбільша частка збитків від пожежі. Це особливо характерно для великих пожеж, на гасіння яких залучаються декілька пожежних підрозділів. Термін часу зосередження сил і засобів припадає зде-

більшого на той період їх вільного розвитку, коли швидкість зростання площі пожежі, швидкість вигорання або інші параметри пожежі, які визначають збитки, мають максимальні значення [2, 3]. Тому питанню зосередження пожежних поїздів, які за пожежно-тактичними характеристиками еквівалентні 52 пожежним автомобілям АЦ-40, за мінімальний термін часу необхідно надавати особливу увагу.

Табл. Час стійкості вагона залежно від відстані осередку пожежі, хв

Тип вагона	Відстань від осередку пожежі, м			
	менше ніж 10	10	15	20
Суцільнометалевий	5	15	30	90
З дерев'яною обшивкою	10	15	45	–
Для перевезення вибухових матеріалів	30	40	65	–

Аналіз розподілу швидкостей у мить транспортних подій показує, що найбільша їхня частка стається не на перегонах, а в межах станцій під час маневрових робіт [6]. Нині пункти стоянки та дільниці обслуговування пожежних поїздів визначає керівництво залізниць за погодженням з Управлінням воєнізованої охорони Укрзалізниці. Зазвичай, пожежні поїзди дислокуються на вантажних, пасажирських, сортувальних дільничних станціях, на яких є експлуатаційний парк локомотивів, а дільницю виїзду пожежного поїзда визначають, виходячи з розрахунку часу (не більше 1,5 год), необхідного для доставки пожежного поїзда до кінцевого пункту, що обмежує дільницю [8]. На жаль, зараз відсутнє наукове обґрунтування цього терміну часу.

З урахуванням необхідності оптимізації кількості пожежних поїздів в Укрзалізниці, на наш погляд, було б доцільно:

- переглянути місця стоянок пожежних поїздів з урахуванням інтенсивностей пасажиропотоку, маневрової та гірочної роботи, а також маршрутів перевезення небезпечних вантажів;
- провести пожежно-тактичні розрахунки з метою прогнозування найбільш несприятливого сценарію розвитку пожежі з урахуванням гарнізонних розкладів виїздів пожежних підрозділів, забезпеченості станції водою і засобів пожежогасіння, умов під'їзду техніки, класів небезпечних вантажів, які найчастіше обробляються на цій станції, видів вагонів, локомотивів, моторвагонного рухомого складу тощо. Це дасть змогу визначити необхідну кількість пожежних поїздів для участі в гасінні пожежі на станції;
- провести аналогічні пожежно-тактичні розрахунки для складних перегонів та визначити необхідну кількість пожежних поїздів для ліквідації пожеж на них;
- визначити порядок забезпечення паливно-мастильними матеріалами і засобами пожежогасіння пожежних поїздів, які беруть участь у гасінні пожежі, а також порядок зміни бойових обслуг із необхідними засобами захисту;
- визначити місця зберігання резерву засобів пожежогасіння, паливно-мастильних матеріалів, засобів індивідуального захисту органів дихання, захисного одягу, засобів захисту рук, ніг та очей.

Для оптимізації кількості пожежних поїздів, обґрунтування терміну зосередження їх на пожежі, на наш погляд, необхідне застосування математичних моделей і методів. За останні роки для розв'язування задач оптималь-

ного розташування центрів обслуговування, центрів телекомунікацій, постів ДАІ тощо застосовують методи дискретної оптимізації, зокрема задача про покриття [8, 9]. Розглянемо задачу оптимізації кількості пожежних поїздів у термінах задачі про покриття.

Нехай на мережі залізниць країни встановлені місця розташування пожежних поїздів, небезпечні перегони і станції, де можливі пожежі небезпечних вантажів, та кількість пожежних поїздів, які необхідно одночасно застосовувати для гасіння пожеж на них. Необхідно знайти кількість пожежних поїздів  $P$  так, щоб кожний перегін (станція) "обслуговувалися" не менше, ніж  $g_j$  поїздами.

Позначення:

- $I = \{1, \dots, m\}$  – множина всіх станцій, де розташовуються пожежні поїзди;
- $J = \{1, \dots, n\}$  – множина всіх небезпечних перегонів та станцій, де можливі пожежі небезпечних вантажів;

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо зі станції } i \text{ можна застосувати} \\ \text{пожежний поїзд для перегону (станції) } j; \\ 0 - \text{ у протилежному випадку} \end{cases}$$

Змінні задачі:

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{ якщо на станції } i \text{ дислокується пожежний поїзд;} \\ 0 - \text{ у протилежному випадку} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, \text{ якщо перегін (станція) "обслуговується" пожежним поїздом;} \\ 0 - \text{ у протилежному випадку} \end{cases}$$

За умови, що перегони і станції небезпечні різним ступенем і величина  $d_j > 0$  задає рівень безпеки, наприклад кількість транспортних подій на рік. Зони "відповідальності" пожежних поїздів можуть перетинатися.

Математична модель:

$$\max \sum_{j \in I} d_j \sum_{i \in I} a_{ij} x_i.$$

$$\text{За умов } \sum_{i \in I} x_i \leq P, \sum_{j \in I} a_{ij} x_i \geq g_j, x_i \in \{0, 1\}, i \in I, x_i \in I.$$

Для розв'язання такої задачі набули поширення алгоритми покоординатного спуску, різні градієнтні та імовірнісні алгоритми, метод гілок і границь, алгоритми перебору, жадібний алгоритм, алгоритм мурашиної колонії та інші.

**Висновки.** З метою оптимізації чисельності пожежних поїздів на залізницях країни необхідно провести підготовчу роботу щодо прогнозування обстановки, яка може скластися на перегонах і станціях у разі пожеж небезпечних вантажів для визначення кількості пожежних поїздів, які необхідно одночасно застосовувати для гасіння таких пожеж. За допомогою математичних методів задачі покриття, які набули розвитку останнім часом, з'явилася реальна нагода щодо визначення як оптимальної кількості пожежних поїздів, так і припустимого часу їх зосередження на місці пожежі.

## Література

1. Положення про функціональну підсистему "Сили і засоби реагування на надзвичайні ситуації на залізничному транспорті". – К. : Вид-во "Укрзалізниця", 2009. – 206 с.
2. Кацман М.Д. Ліквідація пожеж на об'єктах та на рухомому складі залізничного транспорту : навч. посібн. / М.Д. Кацман, Г.Б. Кононов, І.В. Діденко, Н.В. Огороднійчук / за ред. Д.В. Зеркалова. – К. : Вид-во "Основа", 2006. – 216 с.
3. Клюс П.П. Пожежна тактика : підручник / П.П. Клюс, В.Г. Палюх, А.С. Пустовой, Ю.М. Сенчихін, В.В. Сировий. – Харків : Вид-во "Основа", 1998. – 592 с.
4. Кацман М.Д. Інформаційно-комп'ютерні технології автоматизації роботи керівників ліквідації аварій за участю небезпечних вантажів / М.Д. Кацман, В.К. Мироненко, О.Г. Родкевич // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 6. – С. 50-52.
5. Рекомендації з гасіння пожеж на об'єктах та на рухомому складі залізничного транспорту. ЦУО-0026. – К. : Вид-во "Укрзалізниця", 2005. – 175 с.
6. Акимов В.Л. Основы анализа и управление риском в природных и техногенных сферах : учебн. пособ. / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М. : Изд-во "Деловой экспресс", 2004. – 352 с.
7. Положення про пожежні поїзди на залізницях України. – К. : Вид-во "Укрзалізниця", 2006. – 31 с.
8. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.math.nsc.ru/LBRT/ks/OR-MMF/lek.12.pdf>.
9. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.technomag.edu.ru/dok/56779.html>

### **Кацман М.Д. Применение пожарных поездов для ликвидации транспортных событий с опасными грузами**

Проанализированы основные последствия транспортных происшествий с участием опасных грузов, их влияние на экологическое состояние окружающей среды и транспортной инфраструктуры, а также рассмотрены основные пути повышения эффективности использования пожарных поездов для ликвидации таких последствий.

**Ключевые слова:** транспортное происшествие, экологическая безопасность, пожарный поезд.

### **Katsman M.D. Application of fire trains for liquidation of transport events with dangerous loads**

The paper analyzes the main effects of accidents involving dangerous goods, their impact on the ecological environment and transport infrastructure, as well as the basic ways in which use fire trains to eliminate such effects.

**Keywords:** accident, environmental safety, train fire.

## **3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ**

УДК 674.002.5

*Проф. В.В. Шостак, д-р техн. наук;  
інж. В.В. Войтович – НЛТУ України, м. Львів*

### **ЗАЛЕЖНІСТЬ НАДІЙНОСТІ СТРІЧКОПИЛКОВИХ ВЕРСТАТІВ ВІД ЇХ КОНСТРУКЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ**

Проаналізовано конструкції механізмів різання, подавання, спрямування інструменту та інших. Встановлено види зношування спряжень і окремих деталей. Верстат розглянуто як систему з послідовним з'єднанням елементів. Визначено закони розподілу напрацювань на відмову. Висновки дають змогу визначити завдання подальших досліджень.

**Ключові слова:** надійність, верстат, зношування.

Процес розвитку і вдосконалення стрічкопилкових верстатів можна розділити на три етапи. Перший етап (1808-1930 рр.) починається з 1808 р., коли англієць Вільям Невберрі запатентував принципову схему стрічкопилкового верстата з перфорованою сталевією стрічкою. Але цей верстат не мав практичного використання. Минуло майже 50 років, перш ніж були розроблені високоякісні сталі для виготовлення стрічкових пилкок. Пріоритет у виготовленні роботопридатного стрічкопилкового верстата належить французькій фірмі "Періна", яка у 1855 р. демонструвала його на Лондонській виставці [1]. З цього часу стрічкопилкові верстати набули неабиякого поширення завдяки їх істотним позитивним якостям: мала ширина пропилю, безперервний поступальний рух стрічки, можливість здійснювати криволінійний пропилю. Другий етап розпочався у 1930 р., коли з'явилися перші верстати для розпилювання колод. Тут почали використовувати широкі стрічкові пилки, механізовано подачу заготовок, з'явилися багатопилкові верстати. Третій етап розпочався у 1982 р. Початком цього етапу вважають появу верстатів з вузькою пилкою для розпилювання колод фірми "Wood-Mizer". Вузькі пилки із сталі з поліпшеними експлуатаційними властивостями та зі збільшеною западиною зубу дали змогу значно зменшити ширину пропилю до 1,8...2 мм, метало- та енергомісткість стрічкопилкового устаткування [2]. Перелічені умови зробили стрічкопилкові верстати найпривабливішими для розпилювання колод та брусів. Однак зменшення маси верстатів, ширини пилкок і енергомісткості процесу підвищило вимоги щодо надійності та безпечності цього устаткування.

Основним робочим органом механізму різання стрічкопилкового верстата є пилковий шків 1, змонтований на пустотілому валу 2, що опирається на вісь 3 за допомогою конічних роликів підшипників 4 (рис. 1).

Вісь жорстко кріпиться в тримачах за допомогою болтів. Привід шківів здійснюється від окремого електродвигуна за допомогою клинопасової передачі, ведений шків 5 якої кріпиться на пустотілому валу і передає крутний момент за допомогою шпонки 6.