

С. В. Юхимчук, М. Д. Кацман

МОДЕЛІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБЛЕННЯ
РЕКОМЕНДАЦІЙ КЕРІВНИКУ ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ



Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/434>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

С. В. Юхимчук, М. Д. Кацман

**МОДЕЛІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБЛЕННЯ
РЕКОМЕНДАЦІЙ КЕРІВНИКУ ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Монографія

УНІВЕРСУМ-Вінниця
2008

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/434>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>

УДК 681.2.001.5:656.2:658.012.011.56:656.614.84
Ю 94

Рецензенти:

Ю. Г. Даник, доктор технічних наук, професор
Р. Н. Кветний, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 24 травня 2007 р.)

Юхимчук С. В., Кацман М. Д.

Ю 94 Моделі автоматизації вироблення рекомендацій керівнику гасіння пожежі на залізничному транспорті: Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 144 с.

ISBN 978-966-641-235-8

В монографії розглядаються питанням створення нової інформаційної технології автоматизації управління гасінням пожеж в рухомому складі залізниці. Розроблено моделі оцінювання обстановки і вироблення рішення на ліквідацію наслідків аварій, пов'язаних з деякими небезпечними вантажами, а також моделі оцінювання результативності дій пожежних підрозділів щодо ліквідації таких аварій. Запропоновано алгоритм роботи системи підтримки прийняття рішень керівниками ліквідації аварій, що супроводжуються пожежами.

Для наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються питанням розроблення і впровадження сучасних інформаційних технологій, а також аспірантів та студентів вузів III-IV рівнів акредитації.

УДК 681.2.001.5:656.2:658.012.011.56:656.614.84

ISBN 978-966-641-235-8

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВПЛИВУ АВАРІЙ ПРИ НАЯВНОСТІ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН У ВАНТАЖАХ НА БЕЗПЕКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	11
РОЗДІЛ 2. ПРОЦЕС ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ЯКІ СУПРОВОДЖУЮТЬСЯ ПОЖЕЖАМИ, ТА НЕОБХІДНІСТЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЦЬОГО ПРОЦЕСУ.....	24
2.1. Основні етапи процесу прийняття рішень щодо ліквідації надзвичайної ситуації, яка супроводжується пожежею небезпечного вантажу.....	24
2.2. Складові основних рішень, що приймаються керівництвом при ліквідації аварій, які супроводжуються пожежами.....	27
2.3. Існуючі підходи до автоматизації процесів прийняття рішень керівниками ліквідації надзвичайних ситуацій.....	33
РОЗДІЛ 3. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЦІНЮВАННЯ ОБСТАНОВКИ ТА ВИРОБЛЕННЯ РІШЕНЬ НА ЛІКВІДАЦІЮ ПОЖЕЖІ.....	37
3.1. Інформаційне забезпечення процесу ідентифікації надзвичайних ситуацій за участю зріджених вуглеводневих газів, легкозаймистих та горючих рідин.....	41
3.2. Інформаційне забезпечення процесу вироблення рекомендацій щодо ліквідації надзвичайних ситуацій, які супроводжуються пожежами зріджених вуглеводневих газів, легкозаймистих і горючих рідин.....	49
РОЗДІЛ 4. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ДІЙ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ З ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ, ЯКА СУПРОВОДЖУЄТЬСЯ ПОЖЕЖЕЮ....	64
4.1. Математична модель оптимізації плану зосередження пожежних підрозділів для гасіння пожежі на об'єктах та в рухомому складі залізничного транспорту.....	65
4.2. Математична модель оцінювання дій пожежних підрозділів з ліквідації пожежі на об'єктах (рухомому складі) залізничного транспорту.....	69
4.3. Приклади дослідження замкненої стохастичної мережної	

системи “пожежні підрозділи – об’єкти (рухомий склад) залізничного транспорту, що потерпають від пожежі”.....	76
РОЗДІЛ 5. ОСНОВИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ.....	90
5.1. Вибір структури системи підтримки і прийняття рішення керівниками ліквідації аварії та пожежі.	91
5.2. Алгоритм роботи системи підтримки прийняття рішення.....	96
5.3. Використання системи підтримки прийняття рішення керівництвом ліквідацією аварії та пожежі у складі АСУ залізничного транспорту.....	99
ВИСНОВКИ.....	103
ЛІТЕРАТУРА.....	105
ДОДАТКИ.....	116
Додаток А. Основні фізико-хімічні та вибухонебезпечні властивості небезпечних вантажів.....	116
Додаток Б. Рекомендації щодо гасіння та ліквідації наслідків пожежі.....	120
Додаток В. Виведення виразів для визначення ймовірностей станів системи масового обслуговування, яка являє собою накопичувач з обмеженим терміном обслуговування.....	130
Додаток Д. Склад інформації щодо визначення розмірів зон впливу небезпечних факторів аварії, а також сил і засобів для гасіння пожеж небезпечних вантажів.....	133
Додаток Е. Нормативно-довідкова компонента сховища даних системи підтримки прийняття рішення.....	140

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АВР	– аварійно-відновлювальні роботи
АК	– аварійна картка
АРР	– аварійно-ремонтні роботи
АСУЗТ	– автоматизована система управління залізничним транспортом
ГР	– горюча рідина
ДПД	– добровільна пожежна дружина
ЕОМ	– електронно-обчислювальна машина
ЗВГ	– зріджений вуглеводневий газ
КГП	– керівник гасіння пожежі
КЛА	– керівник ліквідації аварії
ЛЗР	– легкозаймиста рідина
МВС	– Міністерство внутрішніх справ
МНС	– Міністерство з надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи
МОЗ	– Міністерство охорони здоров'я
МТЗ	– матеріально-технічне забезпечення
ППС	– паливоповітряна суміш
СДОР	– сильнодіюча отруйна речовина
СЕС	– санітарно-епідеміологічна служба
СМО	– система масового обслуговування
СППР	– система підтримки прийняття рішення

ВСТУП

Розвиток ринкової економіки та стратегічний курс на європейську інтеграцію держави визначають пріоритетні напрямки розвитку залізничного транспорту України, ставлять завдання забезпечення високої конкурентноздатності та ефективності діяльності за рахунок зростання обсягів перевезення вантажів і пасажирів, раціонального використання основних фондів, удосконалення роботи всіх служб та підвищення продуктивності перевезень.

Для сталого розвитку транспортного комплексу необхідне гармонійне поєднання технічного розвитку рухомого складу та інфраструктури залізниць з розвинутою системою реагування на надзвичайні ситуації, які можуть виникнути при перевезенні небезпечних вантажів.

Особливо небезпечними є надзвичайні події, які супроводжуються пожежами (вибухами) цистерн з легкозаймистими і горючими рідинами та зрідженими вуглеводневими газами, а також розливанням (викиданням) горючих рідин і сильнодіючих отруйних речовин. Чимала небезпека також від пожежі твердих горючих матеріалів у рухомому складі та на виробничих об'єктах залізничного транспорту [2, 10–12].

Гасіння пожеж на залізничному транспорті відзначається складністю в організації дій пожежних підрозділів, що обумовлено великою кількістю вантажів, які мають різноманітні пожежо- та вибухонебезпечні властивості, необхідністю знеструмлення контактної мережі, складністю оцінювання обстановки на пожежі, зосередженням необхідних сил та засобів тощо [2–5, 10–12].

Тому для ефективного керування силами і засобами на пожежі необхідно мати чітко побудовану систему управління, організувати на науковій основі роботу оперативної групи з ліквідації аварії і оперативного штабу на пожежі, а також застосувати найбільш ефективні методи роботи з широким використанням сучасних інформаційних технологій, в тому числі й систем підтримки прийняття рішень (СППР).

Застосовування СППР дозволяє здійснювати інформаційне, технологічне, аналітичне й організаційне забезпечення ітеративного процесу аналізу ситуацій, які склалися внаслідок аварій, підготовку і оцінку варіантів рішень та вибір остаточного рішення щодо ліквідації аварій, які супроводжуються пожежами. Для реалізації систем підтримки прийняття рішень КЛА і КГП необхідно створити інформаційні моделі ідентифікації надзвичайних ситуацій і процесів вироблення рекомендацій щодо їх ліквідації, а також математичні моделі оціню-

вання результативності ведення бойових дій пожежними підрозділами [38, 43, 56, 82–84].

З метою складання плану щодо ефективної протидії надзвичайній ситуації, яка супроводжується пожежею, керівникам ліквідації надзвичайної ситуації і пожежі необхідно у найкоротший термін зібрати інформацію про таку ситуацію, визначити відповідний сценарій її розвитку та розміри зон ураження від небезпечних факторів надзвичайної ситуації, оцінити наслідки та виконати багатоваріантне планування використання відповідних сил, засобів і ресурсів [1, 10].

Ефективне вирішення цієї задачі неможливе без автоматизації процесів оперативного управління ліквідацією надзвичайної ситуації, що супроводжується пожежею. Така автоматизація найчастіше здійснюється за допомогою експертної системи, яка містить у собі систему підтримки прийняття рішень, створити яку неможливо без відповідних інформаційних та математичних моделей [38, 42, 43, 48, 50, 57, 60, 62, 63, 65].

Розробці інформаційного забезпечення і математичних моделей прогнозування розвитку аварій, що супроводжуються пожежами на різноманітних об'єктах народного господарства, оцінювання обстановки і вироблення управлінських рішень з метою створення автоматизованих систем підтримки та прийняття рішень керівниками ліквідації аварій і гасіння пожеж нині приділяється значна увага.

Про це свідчать результати досліджень, які описані в роботах Брушлинського М. М., Ключа П. П., Кимстача І. Ф., Теряєва В. Г., Абрамова Ю. О., Громовенка О. А., Мінаєва С. М., Турніна Б. Ф., Бортнічука П. М., Граб М. В., Новоженкової Л. Ф., Ходакова В. Е., Котельникова Р. В., Шостака В. Ф., Геловані В. А., Матюшкіна А. В., Бейкера У., Маршалла В. та інших вітчизняних і зарубіжних авторів.

Між тим, жодна з цих робіт не розглядає питання оцінювання обстановки і прийняття управлінських рішень щодо ліквідації аварій, які супроводжуються пожежами небезпечних вантажів при їх перевезенні залізничним транспортом.

Моделі ідентифікації надзвичайних ситуацій і процесів вироблення рекомендацій щодо їх ліквідації можливо побудувати за допомогою апарату продукційних систем, який широко застосовується в системах штучного інтелекту для моделювання досвіду експертів при вирішенні означеної проблеми, розробки алгоритмів пошуку розв'язання такої проблеми та побудови експертних систем [71–74, 77, 78, 83, 84].

Продукційна система забезпечує керування процесом розв'язання задачі за зразком і складається з набору продукційних

правил, робочої пам'яті та циклу керування “розпізнавання – дія” [73, 84, 112]. Інформаційні моделі на базі продукційних систем описані в роботах [71–79, 112].

Застосування моделей продукційних систем для ідентифікації обстановки, яка склалася на пожежі за участю небезпечних вантажів, дозволить з урахуванням досвіду експертів і вимог керівних документів щодо дотримання правил безпеки при ліквідації надзвичайних ситуацій, які супроводжуються пожежами, встановити характер фінального стану такої ситуації та визначити необхідні дії з ліквідації пожежі.

Все це, у свою чергу, дасть змогу підвищити ефективність роботи керівника ліквідації надзвичайної ситуації та членів його оперативного штабу щодо складання плану її ліквідації та, зокрема, скоротить час, який витрачається на оцінку обстановки і встановлення необхідної кількості пожежних підрозділів для ліквідації пожежі і визначення способів їх дій.

Невід'ємною частиною плану ліквідації надзвичайної ситуації, яка супроводжується пожежею, є визначення результативності дій пожежних підрозділів при призначенні їх на означені об'єкти (рухомий склад), що потерпають від пожежі, за умови, коли відомі тільки часові характеристики зосередження на цих об'єктах встановленої кількості сил і засобів для гасіння пожежі і охолодження таких об'єктів та аварійного рухомого складу.

Для дослідження складних динамічних систем, до яких належать системи “пожежні підрозділи – об'єкти (рухомий склад) залізничного транспорту, що потерпають від пожежі”, необхідно створювати математичні моделі, які дадуть змогу отримати кількісні оцінки результативності бойових дій пожежних підрозділів щодо гасіння пожежі. Математичним апаратом для створення таких моделей є апарат стохастичних мереж, застосування яких дозволяє отримати ймовірнісні характеристики функціонування системи, що розглядається. Нині методи і моделі стохастичних мереж широко застосовуються для дослідження інформаційних процесів у мережах ЕОМ [105–114]. Дослідження таких мереж описані в роботах [101, 102, 105–114], але для дослідження характеристик систем, що розглядаються, вони були вперше запропоновані в роботах [93, 94, 97].

З метою оптимізації плану зосередження пожежних підрозділів для гасіння пожеж на означених об'єктах (рухомому складі) залізничного транспорту можливе застосування математичного апарату транспортних задач лінійного програмування з критерієм оптимальності, який передбачає мінімізацію збитків від пожежі. Транспортні

задачі лінійного програмування для вирішення подібних проблем знайшли своє відображення у роботах [85– 92].

Отже, актуальність створення інформаційного забезпечення і математичних моделей оцінювання обстановки, яка склалася внаслідок надзвичайної ситуації, що супроводжується пожежею небезпечного вантажу, вироблення рекомендацій щодо її ліквідації, отримання оцінки результативності бойових дій пожежних підрозділів та оптимізації плану їх призначення на об'єкти і рухомий склад залізниці, які потерпають від пожежі, обумовлюється необхідністю автоматизації процесів оперативного керівництва ліквідацією надзвичайних ситуацій, що супроводжуються пожежами небезпечних вантажів в рухомому складі залізниці з метою скорочення часу на прийняття відповідних рішень.

В розділі першому монографії аналізуються надзвичайні ситуації, що супроводжуються пожежами небезпечних вантажів та їх наслідків, а також складові рішення, що приймаються з використанням існуючої АСУ Укрзалізниці при ліквідації надзвичайних ситуацій, які супроводжуються пожежами небезпечних вантажів в рухомому складі залізничного транспорту.

Показано, що найбільш небезпечними для людей, рухомого складу та об'єктів залізниці є надзвичайні ситуації із зрідженими вуглеводневими газами, легкозаймистими і горючими рідинами ліквідація наслідків яких пов'язана, у першу чергу, з гасінням пожежі таких небезпечних вантажів.

У другому розділі розглядається процес прийняття рішень щодо ліквідації надзвичайних ситуацій, які супроводжуються пожежею, та необхідність автоматизації цього процесу.

Проаналізовані основні завдання, які вирішують керівники ліквідації надзвичайної ситуації та гасіння пожежі, і складові таких рішень. Розглянуті існуючі підходи до комп'ютеризації процесів прийняття рішень керівниками ліквідації надзвичайних ситуацій у різних галузях промисловості та народного господарства за допомогою СППР, застосування яких дає можливість зменшити час на вироблення обґрунтованих рішень щодо протидії таким ситуаціям, й, тим самим, значно зменшити збитки від них.

З'ясовано, що нині не знайшли необхідного розвитку СППР для керівників ліквідації надзвичайних ситуацій, що супроводжуються пожежами небезпечних вантажів у рухомому складі залізниці.

Показано, що основними проблемами при створенні таких СППР є труднощі інформаційного та математичного моделювання процесів, що супроводжують пожежі небезпечних вантажів, та дії пожежних підрозділів, а також оцінки результативності таких дій.

У третьому розділі роботи розроблені інформаційні моделі оцінювання обстановки та вироблення рекомендацій на ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій, що супроводжуються пожежами небезпечних вантажів. Здійснено теоретико-множинний опис небезпечних ситуацій і рішень щодо їх ліквідації. Для підтримки прийняття рішень керівником гасіння пожежі розроблено інформаційні моделі надзвичайних ситуацій за участю ЗВГ, ЛЗР і ГР та інформаційні моделі процесів вироблення рекомендацій щодо ліквідації таких ситуацій, як основи відповідної інформаційної технології.

У четвертому розділі монографії з метою підвищення обґрунтованості рекомендацій, які виробляє СППР, розроблені математичні моделі оптимізації плану зосередження пожежних підрозділів для ліквідації пожеж на об'єктах і в рухомому складі залізничного транспорту та отримання ймовірнісної оцінки результативності бойових дій такими підрозділами.

П'ятий розділ роботи присвячено розробці алгоритму роботи СППР, вибору її структури та визначенню порядку використання такої СППР у складі існуючої АСУ Укрзалізниці.

Додатки містять основні фізико-хімічні та вибухонебезпечні властивості небезпечних вантажів, рекомендації щодо гасіння та ліквідації наслідків пожежі; виведення виразів для визначення ймовірностей станів СМО, що являє собою накопичувач з обмеженим терміном обслуговування заявок; приклад дослідження замкненої стохастичної мережної системи з одним об'єктом, який потерпає від пожежі; склад інформації щодо визначення розмірів зон впливу небезпечних факторів аварій, а також сил і засобів для гасіння пожежонебезпечних вантажів та складові нормативно-довідкової компоненти сховища даних СППР.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВПЛИВУ АВАРІЙ ПРИ НАЯВНОСТІ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН У ВАНТАЖАХ НА БЕЗПЕКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Залізничний транспорт є нині важливою ланкою народного господарства України, на долю якої припадає до 70% перевезень, що здійснюється в країні усіма видами транспорту.

Небезпечні вантажі, відповідно до Правил [1], розподіляються на небезпечні вантажі, які не допускаються до перевезення залізничним транспортом у міжнародному залізничному вантажному сполученні, та на небезпечні вантажі, які допускаються до цих перевезень за певних умов.

Найбільшу небезпеку при перевезенні складають вантажі, які містять речовини, матеріали, вироби, відходи виробничої та іншої діяльності, що (за наявності певних факторів) можуть під час перевезення спричинити вибух, пожежу, пошкодження технічних засобів, приладів, споруд та інших об'єктів, заподіяти матеріальні збитки та шкоду довкіллю, а також призвести до загибелі, травмування, отруєння людей і тварин [1].

Речовини та вироби, на які поширюється дія Правил [1], залежно від ступеня небезпеки їх властивостей поділяються на 9 класів:

1-й клас – вибухові матеріали. 2-й клас складають стиснені, скраплені та розчинені під тиском газу. 3-й клас – легкозаймисті рідини, 4-й клас – легкозаймисті тверді речовини, самозаймисті речовини та речовини, що виділяють займисті газу при взаємодії з водою. 5-й та 6-й класи відповідно складають окисники і органічні пероксиди та отруйні речовини. 7-й клас – радіоактивні речовини, 8-й клас – їдкі та (або) корозійні речовини. 9-й клас складають речовини, які не ввійшли в жоден з перших восьми класів.

Відносна кількість речовин різних класів, що перевозиться залізничним транспортом становить:

1 клас – 6,4 %; 4 клас – 10,3 %; 7 клас – 1,5 %;
2 клас – 7,3 %; 5 клас – 8,9 %; 8 клас – 12,5 %;
3 клас – 23,7 %; 6 клас – 20,4 %; 9 клас – 9,0 %;

Розглянемо можливі наслідки аварій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом.

Аварії на залізничному транспорті являють собою небезпечні події техногенного характеру, що призводять до загибелі людей, або створюють на об'єкті чи окремій території загрозу життю та здоров'ю людей, призводять до руйнування будівель, споруд, обладнання і

транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу, або завдають шкоду довкіллю [1–6].

Надзвичайні ситуації, які спричиняються аваріями, являють собою порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території та можуть призвести до загибелі людей, тварин і рослин, значних матеріальних збитків та (або) завдати шкоду довкіллю [1].

Необхідно відзначити, що нині в Укрзалізниці приділяється значна увага проблемам безпеки при перевезенні вантажів, в тому числі й небезпечних, та організації ліквідації аварій, що супроводжуються пожежами [7–9].

Розгляд причин виникнення аварій, які мали місце на залізничному транспорті при перевезенні небезпечних вантажів, показує, що кожна аварія може мати два принципових варіанти розвитку [2, 10–18]:

- 1) аварія без пожежі (перекидання вагону, сходження з рейок, розливання або витік небезпечних вантажів тощо);
- 2) аварія, яка супроводжується пожежею (горіння цистерни, горіння продукту, що витікає або розливається, горіння інших вагонів і стаціонарних споруд тощо).

Встановлено [2, 10–18], що найбільш важкими та небезпечними випадками аварій є такі, що пов'язані з пожежами, бо у цьому випадку ліквідація наслідків аварій пов'язана, у першу чергу, з необхідністю ліквідації горіння. Тільки після ліквідації пожежі можливе проведення усього комплексу робіт, необхідних для ліквідації наслідків аварії та відновлення руху поїздів.

Дослідження великої кількості аварій, які супроводжувалися пожежею, показали, що в результаті пожежі умови, в яких відбувалася надзвичайна ситуація, значно ускладнювалися, а у випадках, коли не були застосовані ефективні заходи боротьби з вогнем, саме розвиток пожежі створював умови, при яких розміри та наслідки аварії суттєво збільшувалися [2, 10–19].

У [20] відзначається, що при аваріях на залізничному транспорті можливі:

- скупчення великої кількості рухомого складу із різноманітними вантажами;
- швидке розповсюдження полум'я всередині вантажних вагонів, перехід полум'я на сусідні вагони, цистерни, будівлі та споруди;
- вибухи та інтенсивне горіння залізничних цистерн з ЗВГ, ЛЗР та ГР;
- вилив легкозаймистих, горючих, отруйних та інших токсичних рідин з цистерн та утворення загазованих зон на прилеглий території;

- загрози для людей, які знаходяться у сусідніх вагонах, що горять, виробничого персоналу та населення при виникненні паніки;
- інтенсивний рух поїздів та локомотивів, який не можна припинити;
- складність встановлення виду речовини та матеріалів, які горять та знаходяться в сусідніх вагонах;
- обмежена кількість під'їздів та підступів до рухомого складу, який горить, складні умови прокладання рукавних ліній;
- відсутність або віддаленість джерел водопостачання;
- наявність контактних мереж, що знаходяться під великою напругою;
- значне забруднення довкілля: атмосфери, ґрунту, підземних та поверхневих вод.

Особливу небезпеку для людей становлять такі фактори аварій із ЗВГ, ЛЗР і ГР, як безпосередня дія вогню, теплове випромінювання факела полум'я і вогняної кулі, повітряна ударна хвиля вибуху паливо-повітряної суміші, механічна дія уламків цистерни і токсична дія самих небезпечних речовин [2, 12, 16–29].

На об'єкти та рухомий склад залізничного транспорту нищівно впливають небезпечні фактори аварій, до яких належать повітряна ударна хвиля вибуху ППС, теплове випромінювання вогняної кулі та факела полум'я ЗВГ, ЛЗР і ГР, що горять, та безпосередня дія вогню [2, 10–12, 21, 23–29].

Встановлено [2, 10–12, 18], що основними причинами надзвичайних ситуацій із ЗВГ, ЛЗР і ГР є пробій корпусу цистерни при зіткненні, відмова запірної арматури цистерни, схід з рейок цистерни з подальшим розливанням небезпечного вантажу, розрив та розгерметизація трубопроводу, що з'єднує цистерну з резервуаром на зливно-наливній естакаді, розгерметизація та зрив кутового вентиля цистерни з небезпечним вантажем.

Вивчення аварій без пожежі дозволило встановити, що при їх розвитку можливе утворення вибухонебезпечних зон загазування при розливанні та витіканні ЗВГ і ЛЗР, зон розповсюдження токсичних продуктів з небезпечними концентраціями [2, 10–12].

При цьому розміри вибухонебезпечних зон при розливанні та витіканні ЗВГ, ЛЗР і ГР на сортувальній станції можуть сягати до 330 м, а висота вибухонебезпечної зони – до 10 м [11, 12]. Площа аварійного розливу від однієї цистерни з ЗВГ, ЛЗР та ГР залежить від метеоумов, стану баласту, ухилу колії, рельєфу місцевості та може складати 160-300 м² [11, 12]. Площа розливу ЛЗР та ГР на станціях залежить від місця аварії та кількості цистерн, які отримали пошкодження. Для найбільш несприятливих сценаріїв аварії площі розливу

можуть складати для станцій, на яких здійснюються накопичення та транспортування рідин, до 3000 м², а для інших станцій – 1500 м² [2, 11 – 13, 18]. Ймовірні зони розповсюдження хмар деяких токсичних речовин з вражаючими концентраціями на відкритій місцевості залежить від маси розливу рідини, швидкості вітру і стану атмосфери та можуть сягати кількох кілометрів [2, 11–13, 18].

Дослідження аварій, які супроводжувалися пожежею (вибухом), дозволило встановити наявність таких небезпечних зон [2, 11–16, 18]:

- зона дії повітряної ударної хвилі (надлишкового тиску) при вибуху хмари ППС;
- зона безпосередньої дії полум'я;
- зона дії теплового випромінювання розливів ЗВГ, ЛЗР, ГР та вогняних куль;
- зона дії осколків зруйнованих цистерн.

При цьому небезпечні радіуси надлишкового тиску ударної хвилі вибухів ППС при аваріях із ЗВГ можуть сягати для людей до 1800 м, для техніки – до 450 м [2, 11, 12]. Небезпечні радіуси зон дії теплового випромінювання при аваріях за участю ЗВГ та утворенні вогняної кулі можуть встановлювати для людей до 300 м, а для техніки – 120 м [2, 11, 12].

Небезпечні радіуси зон дії теплового випромінювання пожеж при горінні розливів ЗВГ, ЛЗР та ГР можуть складати: при розливі ЗВГ з однієї цистерни для людей – 80 м, для техніки – 40 м; при розливанні ЛЗР та ГР з однієї цистерни для людей – 60 м, для техніки – 35 м; при розливанні ЗВГ з двох та більш цистерн радіус небезпечної зони для людей – 120 м, для техніки – 55 м [2, 11, 12].

Зона розлітання осколків (уламків) при вибуху цистерни сягає до 150 м, а в окремих випадках – до 450 м. Зафіксовані випадки, коли вибух зриває цистерну з рами та відкидає її на відстань до 80 м [2, 11, 12].

Розміри розливів, а також розміри вибухонебезпечних зон при витоках ЗВГ та ЛЗР визначають розміри можливої пожежі після займання або вибуху хмари ППС.

Більш інтенсивно розвивається пожежа при розливі ЗВГ з залізничних цистерн у випадках аварій або катастроф поїздів. При цьому цистерни перекидаються та ушкоджуються, внаслідок чого загальна площа пожежі може становити 10 тис. м² [2, 11, 12].

Характерною особливістю таких пожеж є значна швидкість росту площі горіння. Звичайно вона складає біля 330 м²/хв., а інколи може сягати 1000 м²/хв. [2, 11, 12].

При розливах ЛЗР з залізничних цистерн, які сталися в результаті аварії зіткнення або катастрофи, горіння по розлитому нафтопро-

дукту може розповсюджуватися не тільки на сусідні поїзди, але й на найближчі будівлі, а при попаданні небезпечної речовини в каналізацію або стічні канали – на об’єкти, які розташовані на відстані до 1 км [2, 11, 12, 18, 19, 21].

Швидкість розповсюдження полум’я по розлитому нафтопродукту складає 15 – 25 м/хв. та може збільшитися в окремих випадках до 40 м/хв. [2, 11, 12, 21, 23, 24].

Руйнування залізничних цистерн із ЗВГ, ЛЗР та ГР може призвести до надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, які, згідно з [30], належать до аварій одного з рівнів: А, Б або В.

На рівні „А” аварія характеризується розвитком у межах одного виробництва (цеху, відділення, виробничої дільниці), яке є структурним підрозділом виробництва, що має під’їзні залізничні колії.

На рівні „Б” аварія характеризується переходом за межі структурного підрозділу та розвитком її в межах підприємства .

На рівні „В” аварія характеризується розвитком та переходом за межі території підприємства, можливістю впливу вражаючих чинників аварії на населення розташованих поблизу населених пунктів та інші підприємства (об’єкти), а також на довкілля.

Необхідно відзначити, що нині в Україні, на жаль, відсутні єдині підходи до оцінювання обстановки, яка складається в результаті надзвичайних ситуацій, що супроводжуються пожежами небезпечних вантажів, які можуть бути використаними безпосередньо для прийняття обґрунтованих рішень на ліквідацію надзвичайних ситуацій з такими вантажами, що впливають на об’єкти інфраструктури залізничного транспорту, а саме: вантажні і сортувальні станції, контейнерні площадки, локомотивні і вагонні депо, склади зберігання небезпечних вантажів, станції наливання та зливання нафтопродуктів, шпалопро-сочувальні заводи тощо.

Аналіз аварій, які сталися з небезпечними вантажами в рухомому складі та на об’єктах залізничного транспорту, дозволили виявити аварії з максимально можливими негативними наслідками їх реалізації при розвитку за найнесприятливішим сценарієм [2, 10–14, 18, 24–29].

Такі аварії отримали назву типових [2, 10–12]. Класифікація типових аварій за участю ЗВГ, ЛЗР, ГР і ТГМ надана на рис. 1.1.

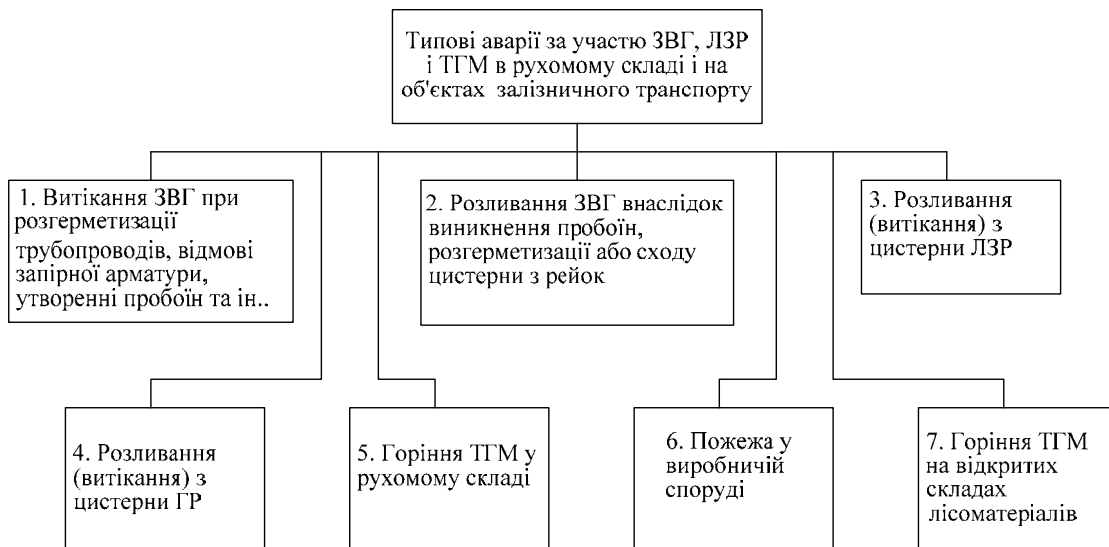


Рис. 1.1. Типові аварії в рухомому складі та на об'єктах залізничного транспорту за участю небезпечних вантажів

Як бачимо з рис. 1.1., до аварії першого типу належать витікання ЗВГ при розгерметизації трубопроводів, відмові запірної арматури, утворенні пробоїн тощо. Аварія другого типу пов'язана з розливанням ЗВГ внаслідок виникнення пробоїн, розгерметизації або сходу цистерни з рейок. Ці аварії пов'язані з цистернами (резервуарами), що містять у собі ЗВГ.

До аварії третього типу належить розливання (витікання) з цистерни легкозаймистої рідини. Аварія четвертого типу пов'язана з розливанням (витіканням) з цистерни горючої рідини. Ці аварії виникають з цистернами, які, відповідно, містять у собі ЛЗР і ГР.

Аварія п'ятого типу виникає при горіння у вагонах (платформах) твердих горючих матеріалів.

З пожежами у виробничих спорудах залізничного транспорту, які містять у собі ТГМ, пов'язана аварія шостого типу. До аварії сьомого типу належить горіння ТГМ на відкритих складах лісоматеріалів, наприклад, на шпалопросочувальних заводах.

Аварії восьмого – десятого типів пов'язані з сильнодіючими отруйними речовинами [2, 10–12]. До аварії восьмого типу належить розливання (витікання) скрапленої СДОР з цистерни (резервуару). Аварія дев'ятого типу виникає при викиданні (витіканні) з цистерни стисненої СДОР. З розливанням (витіканням) з цистерни рідкої СДОР пов'язана аварія десятого типу.

Розглядання умов виникнення типових аварій дозволило виявити можливі місця їх протікання [11, 12]. Так, на станціях наливання та

зливання нафтопродуктів можливе виникнення аварій 1 – 4 типів, на сортувальних станціях можуть статися аварії 1 – 5 типів, ці аварії можливі також на вантажних станціях і контейнерних майданчиках, у локомотивних депо можуть відбутися аварії 3, 4 та 6 типів. Аварія 6 типу може також виникнути у складах зберігання ТГМ, а аварія 7 типу – на шпалопросочувальних заводах.

Необхідно також відзначити, що за підрахунком усіх найменувань небезпечних вантажів, які надані в [1], на ЗВГ припадає 7,3 % найменувань небезпечних вантажів, ЛЗР складають 23,7 % від усієї кількості небезпечних вантажів, а ТГМ та СДОР утворюють відповідно 10,3 % і 20,4 % від небезпечних вантажів усіх класів, що перевозяться залізницею. Саме тому розглянемо особливості розвитку та утворення аварійних ситуацій за участю зріджених вуглеводневих газів, легкозаймистих і горючих рідин, твердих горючих матеріалів та сильнодіючих отруйних речовин.

При з'ясуванні особливостей типових аварій за участю ЗВГ необхідно враховувати низку специфічних особливостей [11, 12]:

- при будь-якій температурі доквілля вміст цистерни, як правило, уявляє собою двофазне середовище (рідина–пар) з тиском, який перевищує атмосферний (іноді у 7– 8 разів);

- розгерметизація цистерни у будь-якому її місці призводить до витоку рідкого та (або) пароподібного середовища з утворенням у доквіллі вибухонебезпечної пароповітряної хмари;

- при витоку рідкої фази одна її частина (у деяких випадках до 40%) миттєво випаровується, інша частина утворює дзеркало розливу, з якого відбувається інтенсивне випаровування речовини;

- ЗВГ, що перевозяться, є займистими речовинами, мінімальні енергії займання їх пари з повітрям дуже низькі. Виходячи з цього, найбільш ймовірним завершенням аварії з розгерметизацією цистерни є займання через деякий час речовини, що витікає з цистерни;

- згоряння вибухонебезпечних пароповітряних хмар паливно-повітряних сумішей може призвести до утворення ударних хвиль та, у подальшому, руйнування навколишніх об'єктів;

- при нагріванні цистерни із ЗВГ у вогнищі пожежі відбувається підвищення температури рідини з відповідним збільшенням тиску парів всередині ємності, 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.[2– 4, 11, 12, 18].

Аварійні ситуації із ЗВГ можуть мати різні варіанти розвитку (рис. 1.2).

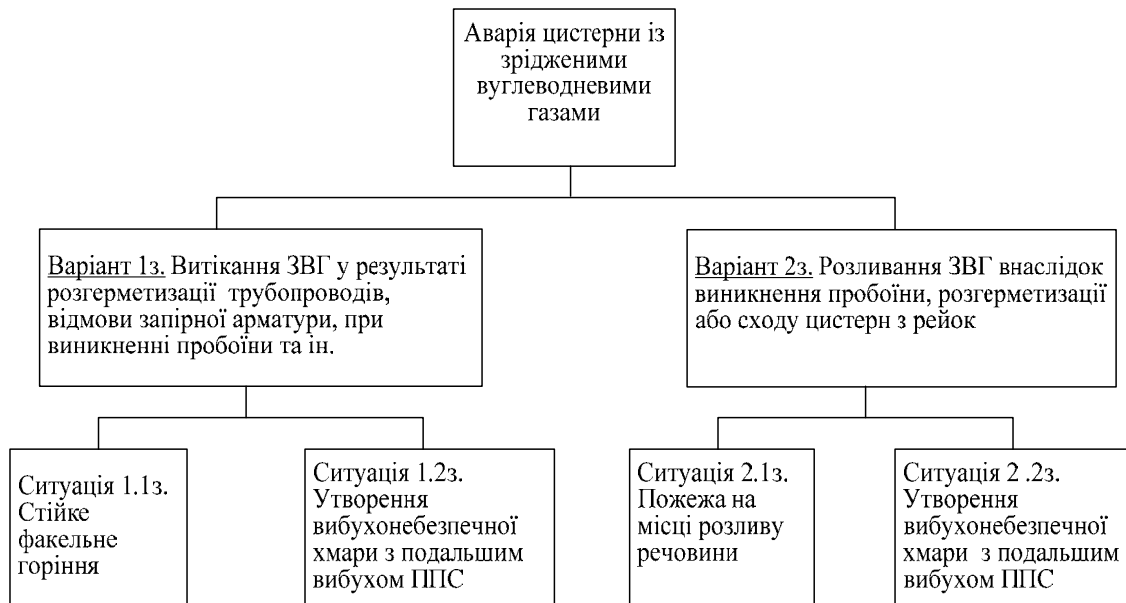


Рис. 1.2. Варіанти розвитку аварій із ЗВГ

Як бачимо з рис. 1.2, при виникненні розгерметизації трубопроводів, відмові запірної арматури, пробоїни тощо (варіант 1з), можливі такі надзвичайні ситуації [2, 11, 12, 18]:

- ситуація 1.1з – стійке факельне горіння;
- ситуація 1.2з – утворення вибухонебезпечної хмари з наступним вибухом ППС.

У залежності від умов горіння ситуація 1.1з може мати такі наслідки:

1) безпосередній контакт полум'я з корпусом аварійної або сусідньої цистерни відсутній. У цьому випадку небезпека руйнування цистерни незначна;

2) факел полум'я ЗВГ обтікає корпус аварійної або сусідньої цистерни з ЗВГ. У цьому випадку можливе руйнування цистерни від збільшення внутрішнього тиску ЗВГ та ослаблення міцнісних властивостей стінок цистерни внаслідок її нагрівання. При руйнуванні цистерни відбувається викидання ЗВГ з утворенням вогняної кулі.

При надзвичайній ситуації 1.2з (див. рис. 1.2) можна очікувати такі наслідки [2, 11, 12, 18]:

1) пожежі в сусідніх будівлях та спорудах, коли густина теплового випромінювання факела полум'я ($q_{ф.п.}$) перевищує допустиму величину теплоти займання матеріалу цих об'єктів ($q_{з.м.}$), тобто ($q_{ф.п.} > q_{з.м.}$);

2) пожежа на місці розливу, коли густина теплового потоку випромінювання вогняної кулі більша за граничну величину теплоти займання розливої речовини ($q_{з.р.}$), при цьому $q_{в.к} > q_{з.р.}$;

3) руйнування сусідньої цистерни, будівлі (споруди), коли наволишній тиск при вибуху пароповітряної суміші ЗВГ з повітрям перевищує надлишковий тиск (ΔP), на який розрахована будівля або споруда ($\Delta P_{доп.}$), тобто $\Delta P > \Delta P_{доп.}$.

Ситуація 2з пов'язана з розливанням ЗВГ внаслідок виникнення пробоїн, розгерметизації або сходу цистерн з рейок.

При цьому можливе виникнення таких надзвичайних ситуацій [2, 11, 12, 18]:

- ситуація 2.1з – пожежа на місці розливу продукту;
- ситуація 2.2з – утворення вибухонебезпечної хмари з наступним вибухом ППС.

У залежності від умов горіння ситуація 2.1з може мати такі наслідки:

1) безпосередній контакт полум'я з корпусом аварійної або сусідньої цистерни відсутній. У цьому випадку небезпека руйнування цистерни незначна;

2) аварійна або сусідня цистерна знаходиться в зоні пожежі. В цьому випадку можливе руйнування цистерни з викидом ЗВГ та утворенням вогняної кулі.

Ситуація 2.2з розвивається аналогічно ситуації 1.2з.

Аналіз аварій, які відбувалися з наявністю легкозаймистих і горючих рідин, показав, що основними причинами аварій з такими небезпечними вантажами можуть бути: витікання речовини в результаті розгерметизації, відмови запірної арматури, виникнення пробоїн та ін.; розливання речовини в результаті виникнення пробоїни, розгерметизації або сходу з рейок; утворення вибухонебезпечної концентрації речовини у цистерні (резервуарі) [2–4, 11, 12, 18].

Можливі варіанти розвитку аварій з ЛЗР і ГР надані на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Варіанти розвитку аварії з легкозаймистими та горючими рідинами

Як видно з рис. 1.3, у варіанті 1лг можливе виникнення таких надзвичайних ситуацій [2, 11, 12, 18]:

- ситуація 1.1лг – стійке факельне горіння;
- ситуація 1.2лг – утворення вибухонебезпечної хмари з наступним вибухом ППС.

У залежності від умов горіння ситуація 1.1лг може мати такі наслідки:

1) безпосередній контакт полум'я з корпусом аварійної або сусідньої цистерни відсутній. У цьому випадку небезпека руйнування цистерни незначна;

2) факел полум'я обтікає корпус аварійної або сусідньої цистерни з ЛЗР. У такому випадку можливе руйнування цистерни з розливом продукту, що горить. При ситуації 1.2лг можна очікувати на такі наслідки розвитку пожежі:

1) пожежі у сусідній будівлях та спорудах, коли величина густини теплового випромінювання факела полум'я більша за допустиму величину теплоти займання матеріалу цих об'єктів, тобто ($q_{ф.п.} > q_{з.м.}$);

2) пожежа на місці розливу, коли густина теплового випромінювання факела полум'я більша за допустиму величину теплоти займання розлитої речовини ($q_{ф.п.} > q_{з.р.}$);

Наукове видання

Юхимчук Сергій Васильович

Кацман Михайло Давидович

**МОДЕЛІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБЛЕННЯ
РЕКОМЕНДАЦІЙ КЕРІВНИКУ ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготував М. Кацман

Видавництво ВНТУ «УНІВЕРСУМ-Вінниця»
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
ВНТУ, ГНК, к. 114
Тел. (0432) 59-85-32

Підписано до друку 24.01.2008 р.
Формат 29,7x42¼ Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 8,26
Наклад 100 прим. Зам № 2008-004

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
ВНТУ, ГНК, к. 114
Тел (0432) 59-81-59

Замовити цю книгу <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/434>

Видавництво Вінницького національного технічного університету

<https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog>