

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КАЦМАН МИХАЙЛО ДАВИДОВИЧ

УДК 504.05. 662.66-5.62-7

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ
БЕЗПЕКОЮ ПІД ЧАС ЛІКВІДУВАННЯ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі цивільної та промислової безпеки Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Запорожець Олександр Іванович,
Національний авіаційний університет,
проректор з міжнародного співробітництва і освіти.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач сектором загальної та радіаційної безпеки
Азаров Сергій Іванович,
Національна академія наук України Інститут ядерних досліджень;

доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування
Кучук Георгій Анатолійович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри екологічного аудиту та експертизи
Антонов Анатолій Васильович,
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

Захист відбудеться 5 грудня 2018 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.09 у Національному авіаційному університеті за адресою: проспект Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: проспект Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058 і на сайті <http://ies.nau.edu.ua/2018-01-22-19-09-36/2018-03-05-09-10-09>.

Автореферат розіслано 31 жовтня 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д 26.062.09, к.т.н.,
доцент



Л.М. Черняк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом за певних умов може створювати ситуації, що загрожують екологічному стану довкілля і життєдіяльності людини. При цьому залізничний транспорт не може вплинути ані на обсяг, ані на номенклатуру та властивості вантажів, що надаються відправником до перевезення згідно зі встановленими правилами.

Перевезення небезпечних вантажів і надалі зберігатиме масовий характер, за умови, що безпечність перевезень перевізнику доводиться підтримувати в обставинах катастрофічного старіння технічних засобів та рухомого складу залізничного транспорту. Відповідно до цього різко зростають ризики виникнення транспортних подій.

У зв'язку з цим виникає **наукове протиріччя**: з одного боку, через соціально обґрунтоване зростання матеріальних потреб суспільства існує необхідність у перевезенні залізничним транспортом великої кількості вантажів, зокрема небезпечних. З іншого боку, збереження екологічної рівноваги потребує зменшення екологічної небезпеки, яка може бути наслідком техногенних аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів.

Це, своєю чергою, зумовлює наукову проблему зменшення негативного впливу на довкілля та життєдіяльність людини небезпечних чинників залізничних аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів.

Проблемам обґрунтування теоретичних основ оцінювання техногенного ризику, розробленню за їх допомогою раціональних форм і методів управління екологічною безпекою під час аварійних ситуацій на різноманітних промислових об'єктах, у тому числі й з небезпечними речовинами, матеріалами та виробами нині приділяється значна увага. Значні внески у розв'язанні цих проблем зробили такі вітчизняні та закордонні вчені як С.В. Бойченко, В.М. Плахотнік, С.І. Азаров, В.О. Геловані, М.А. Башликов, Г.А. Кучук, О.В. Третьяков, В.А. Глива, О. І. Ларичев, Д. А. Поспелов, В. М. Глушков, І.В. Ковалець, А.В. Антонов, Е. О. Трахтенгерц, М. Ріхтер, J. L. Kolodner, Р. Бергман, А. Аамондта ін.

Основою управління силами під час ліквідування наслідків залізничних аварійних ситуацій є рішення керівника оперативного штабу ліквідування наслідків аварійної ситуації. Управління такими силами здійснюється в умовах ризику та невизначеності, які обумовлені неповнотою інформації про стан аварійного рухомого складу та об'єктів залізничної інфраструктури, розвиток небезпечних чинників аварійної ситуації, їхнього негативного впливу на довкілля і людей, дефіциту часу, необхідного для зменшення такого впливу та відновлення руху поїздів у можливо короткий термін.

Таким чином, це створює **наукове протиріччя**: з одного боку, для прийняття своєчасного обґрунтованого раціонального рішення щодо реагування на аварійну ситуацію керівнику оперативного штабу необхідно у можливо короткий термін проаналізувати та усвідомити великий обсяг інформації про обстановку, що склалася, виробити та оцінити варіанти рішень і вибрати найприйнятніший з них. З іншого боку, для зменшення сумарного часу на прийняття ним рішення щодо реагування на таку ситуацію, необхідно мати ефективну систему управління з функціями автоматизованого збирання та оброблення інформації про аварійну ситуацію, своєчасного прогнозування розвитку її небезпечних чинників та результатів дій ліквідаційних підрозділів,

вироблення варіантів рішення, планування заходів реагування, оперативного доведення таких планів до виконавців, аналізування інформації про виконання цих заходів щодо вироблення, при необхідності, нового рішення.

Отже, постає науково-прикладна проблема створення методологічних засад організації управління екологічною безпекою при ліквідуванні наслідків залізничних аварійних ситуацій під час транспортування небезпечних вантажів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконувалось відповідно до Стратегії екологічної безпеки соціально-економічного розвитку України та Транспортної стратегії України на період до 2020 року в рамках наукової тематики Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України «Дослідження стану і тенденції розвитку транзитних перевезень та розроблення пропозицій щодо освоєння перспективних транзитних вантажопотоків через територію України» (державний реєстраційний номер 0112U006664), Академії внутрішніх військ МВС України: «Розроблення механізму взаємодії між підрозділами внутрішніх військ МВС України та спеціальними формуваннями сил цивільного захисту МНС України при виникненні надзвичайних ситуацій» (шифр «Ситуація»), 2010р., на замовлення начальника Головного управління – командувача внутрішніх військ МВС України, Концепції «Безпечна залізниця» Публічного акціонерного товариства «Українська залізниця» (ПАТ «Укрзалізниця»). У даних науково-дослідних роботах автор брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – створення методологічних засад організації управління екологічною безпекою у процесах ліквідування наслідків залізничних аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів з використанням інформаційних технологій на основі мережецентричного управління.

Для досягнення мети роботи визначені наступні завдання:

-проаналізувати сучасний стан перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом та функціонування системи залізничного транспорту як мегасистеми взаємодії з довкіллям;

-виявити причини виникнення залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами і розробити типові сценарії розвитку таких ситуацій на основі статистичних даних про їх виникнення та аналізу небезпечних властивостей їхнього впливу на довкілля та життєдіяльність людини;

-вдосконалити існуючі моделі та комп'ютерні програми визначення величин небезпечних для довкілля та життєдіяльності людини чинників залізничних аварійних ситуацій при транспортування газів і легкозаймистих речовин;

-розробити метод проведення розрахунків величин атмосферного забруднення внаслідок залізничної аварійної ситуації, пов'язаної з викидом хімічно небезпечної легкозаймистої речовини;

-провести дослідження функціонування залізничної транспортної системи при реагуванні на аварійні ситуації під час перевезення небезпечних речовин;

-дослідити можливість застосування класичних методів теорії масового обслуговування та адаптувати ці методи для обґрунтування і моделювання різних схем організації проведення аварійно-відновних робіт, прогнозування та оцінювання результативності дій ліквідаційних підрозділів та їхніх оперативних з'єднань щодо

відновлення безпечного стану і належного рівня екологічної безпеки залізничної транспортної системи;

- розробити для застосування в базі знань системи підтримки прийняття рішень структурно-логічні схеми дій оперативного штабу щодо ліквідування наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами та опрацювати метод продукцій для створення бази знань системи підтримки прийняття рішень з метою вироблення ефективних рішень, створення нових механізмів і технологій інформаційного забезпечення при ліквідуванні наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами;

- дослідити функціонування залізничної системи реагування на небезпечні для довкілля та життєдіяльність людини аварійні ситуації під час перевезення небезпечних вантажів;

- на основі наведених методів, моделей і технологій створити методологічні засади організації управління екологічною безпекою під час ліквідування наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами на залізничному транспорті.

Об'єкт дослідження – процеси ліквідування наслідків залізничних аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів як джерел екологічно-шкідливого впливу на довкілля і життєдіяльність людини.

Предмет дослідження – методи, моделі та технології управління екологічною безпекою під час ліквідування наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами.

Методи дослідження – в роботі використано комплексний системний підхід, який включає аналіз та узагальнення світового досвіду та власних досліджень з питань розвитку наукових основ управління екологічною безпекою під час ліквідування наслідків аварійних ситуацій на залізничному транспорті; здійснено аналізування статистичних даних щодо залізничних перевезень небезпечних вантажів, аварійних ситуацій за участю таких вантажів, їхнього шкідливого впливу на довкілля та життєдіяльність людини. На основі охоронно-відновлювальних функцій механізму реагування на аварійні ситуації та теорії систем розроблено структурно-логічні схеми ймовірних процесів розвитку типових аварійних ситуацій з небезпечними вантажами. На підставі методів дослідження операцій і математичного моделювання, розроблено математичну модель функціонування системи залізничних перевезень у разі виникнення аварійних ситуацій під час транспортування небезпечних вантажів, структурно-аналітичні моделі визначення величин небезпечних для довкілля і життєдіяльності людини чинників аварійних ситуацій під час транспортування газів і легкозаймистих речовин та структурно-логічні схеми дій оперативного штабу з ліквідації аварійних ситуацій. На основі теорії турбулентної дифузії за допомогою моделей комплексу CALPUFF, системи Mathcad та пакету аналізу Excel проведено числове моделювання розвитку аварійної ситуації із стандартною залізничною цистерною під час транспортування бензину. На підставі методів теорії систем масового обслуговування здійснено формальний опис функціонування системи «навколишнє середовище – аварійний об'єкт – ліквідаційні підрозділи». За допомогою програмного комплексу Mathcad здійснено математичне моделювання функціонування ліквідаційних підрозділів та їхніх з'єднань в аварійних ситуаціях з небезпечними вантажами. На основі методів штучного інтелекту, теорії інформації та принципу мережецентричного управління складними динамічними ергатичними ієрархічними системами розроблений алгоритм

формування бази знань СППР керівника оперативного штабу, обґрунтовано критерії доцільності передачі функцій прийняття рішень на відповідний рівень управління.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертації розв'язується актуальна науково-прикладна проблема зменшення шкідливого впливу на довкілля і життєдіяльність людини негативних чинників аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом за рахунок удосконалення управління реагуванням на такі аварійні ситуації.

Наукову новизну визначають такі теоретичні та експериментальні результати досліджень:

вперше:

- проаналізовано функціонування системи залізничного транспорту як мегасистеми взаємодії з довкіллям та сучасний стан перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом. Виявлено, що існує антагоністична суперечність між природними і техногенними чинниками аварійної ситуації, які створюють екологічну небезпеку розв'язування суперечності, та цілеспрямованими діями ліквідаційних підрозділів, на зосередження та організацію функціонування яких ще необхідні певні зусилля і час з боку органу управління;

- запропоновано метод оцінювання часової залежності інтенсивності викиду легкозаймистих речовин з аварійного рухомого складу, яка інтегрована у сучасну модель атмосферного перенесення таких речовин задля врахування часової мінливості джерела викиду і розрахування часової залежності концентрації цієї речовини в атмосфері на різних відстанях від аварійного рухомого складу;

- запропонована математична модель визначення ймовірності станів і рівня екологічної безпеки системи залізничних перевезень небезпечних вантажів під час аварійних ситуацій з такими вантажами залежно від ефективності реагування на ці аварійні ситуації, яка на відміну від існуючих, дозволяє визначити умови зменшення шкідливого впливу небезпечних чинників цих ситуацій на довкілля і людину та відновлення ефективного функціонування системи залізничних перевезень у можливо короткий термін;

- на основі принципу мережецентричного управління різноманітними силами і засобами створено методологічні засади управління екологічною безпекою під час ліквідації наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами;

удосконалено:

- математичну модель прогнозування виникнення небезпечних чинників залізничних аварійних ситуацій під час транспортування легкозаймистих і горючих речовин із застосуванням розробленого методу визначення параметрів зон забруднення верхньої будови залізничної колії від розливу нафтопродуктів з аварійного рухомого складу;

- математичні моделі оцінювання ефективності дій ліквідаційних підрозділів та їхніх з'єднань, які, на відміну від відомих, ґрунтуються на використанні методу псевдостанів теорії систем масового обслуговування, шляхом опису функціонування залучених сил і засобів під час ліквідування наслідків залізничних аварійних ситуацій із небезпечними вантажами з урахуванням часових характеристик зосередження та ефективності роботи, а також параметрів небезпечних чинників таких ситуацій;

- методологію прогнозування параметрів небезпечних чинників аварійних ситуацій на різних промислових об'єктах, які на відміну від існуючих, адаптовано до

умов перебігу залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами, а також порядок визначення ситуативних критеріїв ефективності і послідовності дій оперативних штабів пунктів управління ліквідуванням наслідків таких ситуацій;
набуло подальшого розвитку:

- прогнозування основних ймовірних процесів типових сценаріїв розвитку залізничних аварійних ситуацій і виявлення причинно-наслідкових зв'язків цих процесів з характеристиками їхніх наслідків з урахуванням негативних властивостей небезпечних вантажів для створення теоретичної основи побудови бази знань системи підтримки прийняття рішень керівників оперативних штабів ліквідації наслідків таких аварійних ситуацій;

- застосування методу продукції штучного інтелекту для формування бази знань системи підтримки прийняття рішень керівників оперативних штабів пунктів управління ліквідації наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами, яка відрізняється від існуючих використанням продукційних моделей знання, що дає змогу формального опису аварійної ситуації та опрацювання у середовищі системи підтримки прийняття рішень варіантів управлінських рішень задля зменшення шкідливого впливу на довкілля та життєдіяльність людини наслідків таких аварійних ситуацій.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність результатів досліджень полягає в тому, що для системи підтримки прийняття рішень керівника оперативного штабу ліквідування наслідків аварійних ситуацій при транспортуванні небезпечних вантажів використовуються математичні моделі прогнозування розвитку небезпечних для довкілля чинників типових аварійних ситуацій, математичні моделі визначення ефективності дії ліквідаційних підрозділів, аналізу обстановки і вироблення варіантів рішень. Запропонований принцип мережецентричного управління ліквідаційними підрозділами із ситуаційних центрів залізничних пунктів керування з використанням СППР у складі єдиної автоматизованої системи управління вантажними перевезеннями залізничного транспорту дає змогу скоротити час на підготовку та прийняття обґрунтованого рішення та інтенсифікувати проведення комплексу ліквідаційних заходів на 10–15 % у порівнянні з існуючою системою підготовки та прийняття рішень. Застосування СППР у системі професійної підготовки начальницького складу воєнізованої охорони дало можливість покращити навички під час навчання в оцінці обстановки і виробленні рішення щодо ліквідації аварійних ситуацій при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом, а також розвинути базу знань СППР.

Отримані результати роботи були використані Міністерством інфраструктури України при розробленні проекту Закону України «Про критичну інфраструктуру та її захист», при виконанні Державним економіко-технологічним університетом транспорту науково-дослідної роботи «Дослідження стану і тенденцій розвитку транспортних перевезень та розроблення пропозицій щодо освоєння перспективних транзитних вантажопотоків через територію України» і науково-дослідної роботи (шифр «Ситуація») науково-дослідного, проектно-конструкторського та технологічного інституту мікрографії МНС України. Результати роботи використовуються Державним економіко-технологічним університетом транспорту у навчальному процесі під час викладання дисциплін «Нормативні документи з безпеки руху поїздів» та «Транспортна екологія».

Результати роботи впроваджені у Головному управлінні воєнізованої охорони Публічного акціонерного товариства «Укрзалізниця» та у Департаменті з питань екології, енергоменеджменту, охорони праці та цивільної безпеки Маріупольської міської ради і використовуються у навчальному процесі в інституті залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення, що містяться в дисертації, отримані автором самостійно. Теоретичне та експериментальне дослідження виконане особисто, а впровадження розробок у практику – при безпосередній участі автора. Наукові праці [10, 17, 35, 41, 42, 44 – 46, 48, 49] виконані самостійно. У публікаціях у співавторстві здобувачу належать: [1] – аналіз впливу на довкілля аварійних ситуацій з небезпечними вантажами; математичні моделі оцінювання обстановки і прийняття рішень на ліквідування наслідків аварійних ситуацій з пожежами небезпечних вантажів; структура СППР для керівника гасіння пожежі; [2] – математичні моделі формалізації процесу залізничних перевезень, транспортних подій і ризиків при перевезенні небезпечних вантажів, ліквідації аварійних ситуацій з такими вантажами та оцінювання дій пожежних підрозділів; [3, 4, 33] – структура СППР керівника гасіння пожежі та ліквідації наслідків аварій з небезпечними вантажами; [28] – аналіз існуючих математичних моделей і комп'ютерних програм для прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері; [5, 6, 19, 29] – продукційні моделі автоматизованого вироблення в СППР варіантів рішення керівника гасіння пожежі небезпечних вантажів та ліквідації шкідливих для довкілля та людини наслідків аварійних ситуацій з такими вантажами; структура бази знань СППР; [7, 8, 9, 12, 40] – впровадження на залізничному транспорті України модульних автоматизованих пожежно-рятувальних поїздів; [11, 16, 17, 38, 39, 43] – аналіз шкідливих для довкілля та людини впливів властивостей небезпечних вантажів внаслідок залізничних аварійних ситуацій та рекомендованих дій щодо ліквідації таких впливів; [13,14] – пропозиції щодо використання безпілотних авіаційних комплексів для вдосконалення функціональної підсистеми реагування на залізничні транспортні події; [15] – статистичний аналіз перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом, аналіз і узагальнення результатів комп'ютерного моделювання забруднення атмосфери під час аварійної ситуації з легкозаймистою речовиною; [20 – 23, 30, 31, 34, 37] – математичні моделі ліквідування екологічно небезпечних наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами; аналіз і узагальнення отриманих результатів; [24, 25, 36] – структура бази знань СППР керівника ліквідації наслідків залізничних аварій; застосування мережецентричних методів управління реагування на залізничні аварійні ситуації; [26] – метод визначення раціональності передачі функцій прийняття рішень на відповідний рівень управління, структура та функцій ситуаційного центру управління ліквідацією наслідків залізничних аварійних ситуацій; [27] – математичні моделі та обчислювальний експеримент динаміки обміну інформацією в контурі керування «пункт управління – ліквідаційні підрозділи»; [32] – аналіз основних положень залізничної статистики і тарифів, організації залізничних перевезень; [47] – математична модель визначення параметрів забруднення верхньої будови залізничної колії при аварійному розливанні нафтопродуктів; [50] – завдання і критерії забезпечення транспортної безпеки.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи й основних її положень доповідались і обговорювались на таких симпозиумах, науково-технічних

конференціях, нарадах і семінарах: міжнародній науково-практичній конференції «Автоматизация: проблемы, идеи, решения» (м. Севастополь, 2007 р.); I міжнародній науково-практичній конференції «Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті» (м. Львів, 2009 р.); IX міжнародній науково-технічній конференції. «Проблеми інформатики і моделювання» (м. Харків, 2009 р.); II міжнародній науково-практичній конференції «Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті». (м. Київ, 2011); II міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку» (м. Київ, 2011 р.); IV міжнародній науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства» (м. Київ, 2011 р.); II міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрямки розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (м. Київ, 2011 р.); V Міжнародна науково-практична конференція. «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології». (м. Київ, 2011 р.); III міжнародній науково-практичній конференції «Маркетинг і логістика в системах менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті» (м. Харків, 2012 р.); I Украинской научной конференции «Безопасность жизнедеятельности. «Экологические и здоровьесохраняющие технологии, 2013» (м. Харків, 2013 р.); Medzinárodná vedecko-odborná konferencia «RIADENIE BEZPEČNOSTI ZLOŽITÝCH SYSTÉMOV» (м. Liptovský Mikuláš, 2014r.); IV міжнародній науково-практичній конференції «Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті» (м. Одеса, 2014 р.); IV міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (м. Полтава, м. Баку, м. Белгород, м. Кіровоград, м. Харків, 2014 р.); V міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (м. Полтава, м. Баку, м. Белгород, м. Кіровоград, м. Харків, 2015 р.); XI міжнародній конференції «Стратегия качества в промышленности и образовании» (м. Варна, 2015 р.); III міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (м. Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Полтава, 2015 р.); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Маркетинг і логістика в системі менеджменту на залізничному транспорті» (м. Запоріжжя, 2016 р.), XXII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки у контексті інтеграції України в Європейській науково-інноваційний простір» (м. Одеса, 2017р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано дві монографії [1,2], 29 наукових статей [3–32], з яких: 5 наукових статей [16, 28–31] у закордонних наукових виданнях, 10 наукових статей [17–27] у виданнях, які індексуються науково-метричними базами даних. Додатково дисертаційні дослідження викладено у 18 публікаціях матеріалів наукових конференцій [31–49].

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації 420 сторінки з них 316 основного тексту. Дисертація містить 73 рисунки, 16 таблиць, 338 найменувань використаних джерел та 4 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкриті суть та стан проблеми, обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету, основні завдання дослідження, наукову новизну отриманих результатів. Розглянуто практичне значення та впровадження результатів дисертації. Наведено відомості про публікації та апробацію роботи.

У **першому розділі** досліджені властивості залізничної транспортної системи, що впливають на безпеку перевезень, рухомий склад, об'єкти залізничної інфраструктури та навколишнє середовище. Встановлено, що залізничний транспорт є складною розосередженою, ергатичною, динамічною, самоорганізаційною системою, якій притаманна властивість збереження безпечності свого функціонування, що не виключає цілеспрямованих дій персоналу у аварійних ситуаціях. В таких ситуаціях поведінка системи стає нестійкою, виникає суперечність між природними механізмами утворення і розвитку цієї ситуації, відбувається залучення у неї об'єктів, рухомого складу залізниці та навколишнього середовища, які діють несвідомо за своїми різнохарактерними законами, та персоналом оперативного штабу із своїм керівником, який свідомо і цілеспрямовано керує діями ліквідаційних підрозділів.

Суперечність між сторонами аварійної ситуації (природні, техногенні чинники та цілеспрямовані дії ліквідаційних підрозділів) є антагоністичною, її особливістю є «знаходження» природних механізмів розвитку такої ситуації на місці розв'язування суперечності, тоді як зосередження ліквідаційних підрозділів та організація їхніх дій оперативним штабом ще потребує певних зусиль і часу.

Запропонована класифікація причин виникнення, розвитку і наслідків залізничних аварійних ситуацій під впливом внутрішніх і зовнішніх ініціюючих подій, визначені заходи, спрямовані на забезпечення безпеки залізничних перевезень у сталому режимі функціонування та при регламентованих впливах, а також заходи щодо локалізації та ліквідації залізничних аварійних ситуацій.

За прийнятою на залізничному транспорті класифікацією, до залізничних транспортних подій належать події, що призвели до загибелі або травмування людей, пошкодження технічних засобів, вантажу, об'єктів залізничної інфраструктури, дезорганізації руху чи завдали шкоди довікілью. До таких подій, які розрізняються тяжкістю наслідків, належать катастрофи, аварії, серйозні інциденти та інциденти.

Динаміка кількості транспортних подій щодо обсягів перевезень за 2006 р. по 2017 р. наведена на рис.1

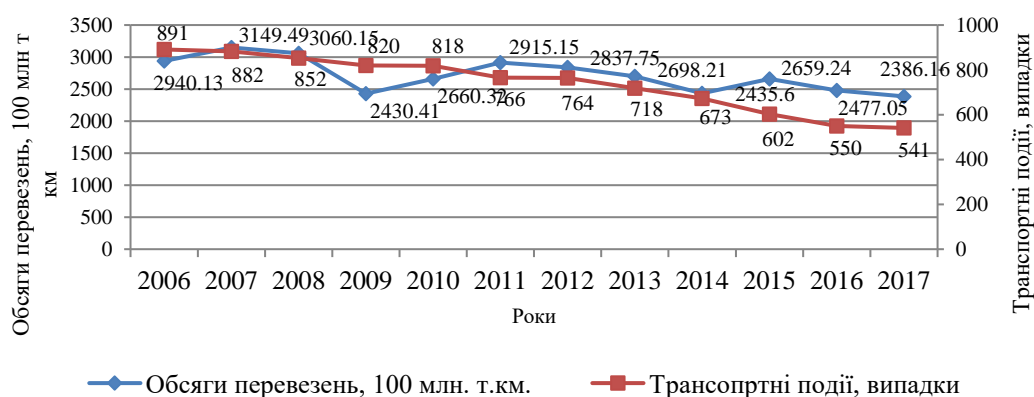


Рис. 1. Динаміка кількості транспортних подій щодо обсягів перевезень за 2006 – 2017 роки

Рис. 1 свідчить, що кількість транспортних подій знижується відповідно до зменшення обсягів вантажних перевезень.

Дані про відносну кількість транспортних подій щодо обсягів перевезень, середню вартість збитків від однієї залізничної транспортної події та середню кількість залізничних транспортних подій за добу року наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Дані про залізничні щорічні транспортні події за період з 2006 по 2017 рр.

Дані про події	Роки											
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Відносна кількість подій на 100 млн т км	0,30	0,28	0,28	0,34	0,31	0,26	0,27	0,27	0,28	0,23	0,22	0,23
Транспортні події, випадки	891	882	852	820	818	766	764	718	673	602	550	541
Середня вартість збитків від однієї події, тис. грн	1,38	13,15	1,19	3,09	2,02	1,84	2,82	2,81	8,15	6,72	7,24	7,06
Середня кількість подій за добу року, випадки	2,44	2,42	2,33	2,25	2,24	2,10	2,09	1,97	1,84	1,65	1,51	1,48
Балансові збитки, тис. грн	1,228	11,601	2,534	1,011	1,650	1,412	2,152	2,015	6,025	4,044	3,920	3,819

Дані, які наведені у табл. 1, вказують на те, що з 2006 р. по 2017 р. середня кількість транспортних подій на 100 млн. т. км. щодобових вантажних перевезень зменшилася з 2,44 у 2006 р. до 1,48 у 2017 р. Все це стало можливим за рахунок організації та координації діяльності, спрямованої на забезпечення безпеки залізничних перевезень, яка здійснюється в умовах катастрофічного старіння рухомого складу та об'єктів залізничної інфраструктури.

Характер зміни середньої вартості балансових збитків від однієї транспортної події за останні п'ять років свідчить про те, що при зменшенні числа транспортних подій їхні наслідки мали більш негативний характер впливу на навколишнє середовище і об'єкти залізничної інфраструктури. Для ліквідування наслідків цих подій необхідно було залучати велику кількість сил і засобів за більш тривалого часу проведення відновних робіт.

На рис. 2 наведена динаміка вантажних перевезень, у тому числі й дев'яти класів небезпечних вантажів, за період з 2006р. по 2017 р.

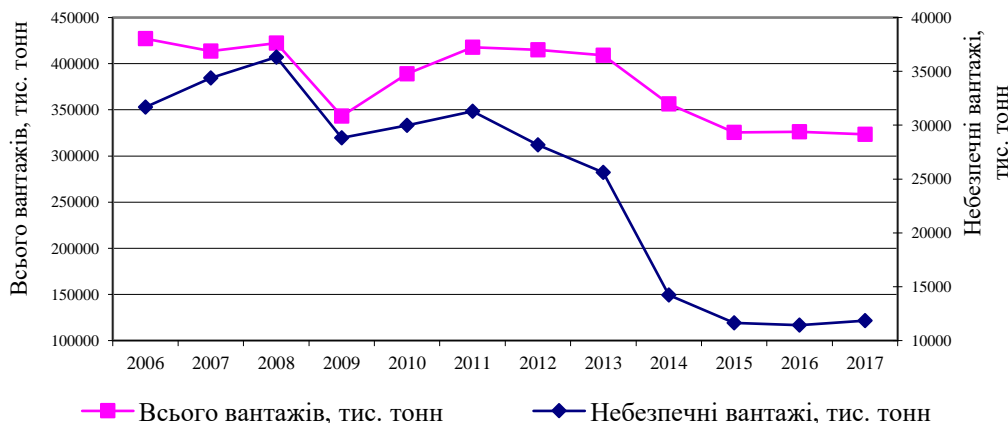


Рис. 2. Динаміка вантажних перевезень за період з 2006 року по 2017 рік

Рис. 2 показує, що за період з 2006 р. по 2011 р. частка небезпечних вантажів із загальної кількості вантажних перевезень становила у межах від 7,1% (2006р.) до 8,6% (2008р.). З 2012 р. намітилася тенденція до зменшення об'ємів вантажних перевезень, так частка небезпечних вантажів від усієї кількості вантажних перевезень становила: 2012 р. – 6,8%, 2013 р. – 6,3%, 2014 р. – 4%, 2015 р. – 3,6%, 2016 р. – 3,5%, 2017 р. – 3,7%

Аналіз залізничних транспортних подій за характером викиду небезпечних вантажів у довкілля за період з 2006 р. по 2017 р. поданий на рис. 3.

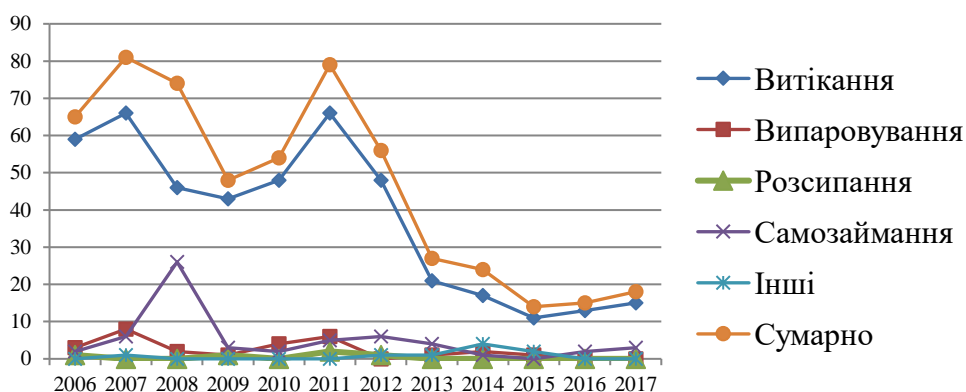


Рис. 3. Динаміка кількості транспортних подій із характером викиду небезпечних вантажів у довкілля

Аналіз цієї динаміки свідчить про те, що витікання вантажів траплялося у 80,8% випадків, самозаймання вантажу відбувалося у 11,2% випадках, випаровування зчинилося у 5,9% випадках, розсипання – у 0,6% випадків. Інші випадки (пошкодження тари, рухомого складу) траплялися 1,5% випадків. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізничному транспорті України за період, що розглядається, показує, що на катастрофи припадає 2% від загальної кількості транспортних подій, серйозні інциденти виникали у 14% випадків, на інциденти припадає 84% транспортних подій.

Ліквідування наслідків аварійних ситуацій на залізничному транспорті є комплексом організаційно-технічних заходів, спрямованих на запобігання загрози людям, захист навколишнього середовища, збереження рухомого складу, вантажу, об'єктів інфраструктури залізниці, відновлення руху поїздів і маневрової роботи у можливо короткий термін. У роботі визначені заходи, спрямовані на убезпечення залізничних перевезень у сталому режимі функціонування та при регламентованих впливах, а також заходи щодо локалізації аварійних ситуацій та ліквідації їхніх наслідків у разі порушення умов перевізного процесу.

У розділі проведено аналіз літературних джерел з питань теоретичних та практичних проблем управління екологічною безпекою при ліквідуванні наслідків аварійних ситуацій з небезпечними речовинами та формування наукових основ створення систем підтримки прийняття рішень.

Проблемам створення методів прогнозування наслідків аварійних ситуацій з небезпечними речовинами щодо забруднення довкілля і розповсюдження таких речовин в атмосфері, математичним моделям, які описують такі явища, й програмним комплексам, що реалізують такі моделі, нині приділяється значна увага (В.С. Бабков, 2011; А.Б. Белихов, 2013; Н.Л. Бизова, 1991; Р. Zannetti, 1993; А.А. Шаталов, 2004).

Істотним для управління екологічною безпекою є дослідження розвитку небезпечних явищ у аварійних ситуаціях, оцінювання ймовірності переростання аварійної ситуації в аварію, прогнозування виникнення аварійних ситуацій на об'єктах промисловості і транспорту, а також ліквідування їхніх наслідків (В.Г. Попов, 2012; В.І. Медведєв, 2001; В.А. Акімов, 2004; О.В. Лаврухін, 2006; А.Н. Цуріков, 2013). Особливої уваги заслуговує ліквідування розливів нафтопродуктів (М. Л. Сорока, 2012; Ю.В. Зеленько, 2011; Є.І. Макарова, 2007). Вагомим напрямом наукових досліджень є напрям, присвячений науково-методичним підходам до створення експертних систем, систем підтримки прийняття рішень, застосуванню інформаційних технологій, моніторингу стану об'єктів і рухомому складу залізничного транспорту (В.А. Гапанович, 2011; Д.А. Моїсеєнко, 2007; О.І. Горяєв, 2010; Т.В. Бутько, 2003).

У другому розділі досліджено вплив на довкілля наслідків аварійних ситуацій при транспортуванні небезпечних вантажів.

В роботі, на основі статистичних даних результатів вантажних перевезень небезпечних вантажів залізничним транспортом України, побудовані графіки транспортування таких вантажів за період з 2006 р. по 2017 р. (рис.4).

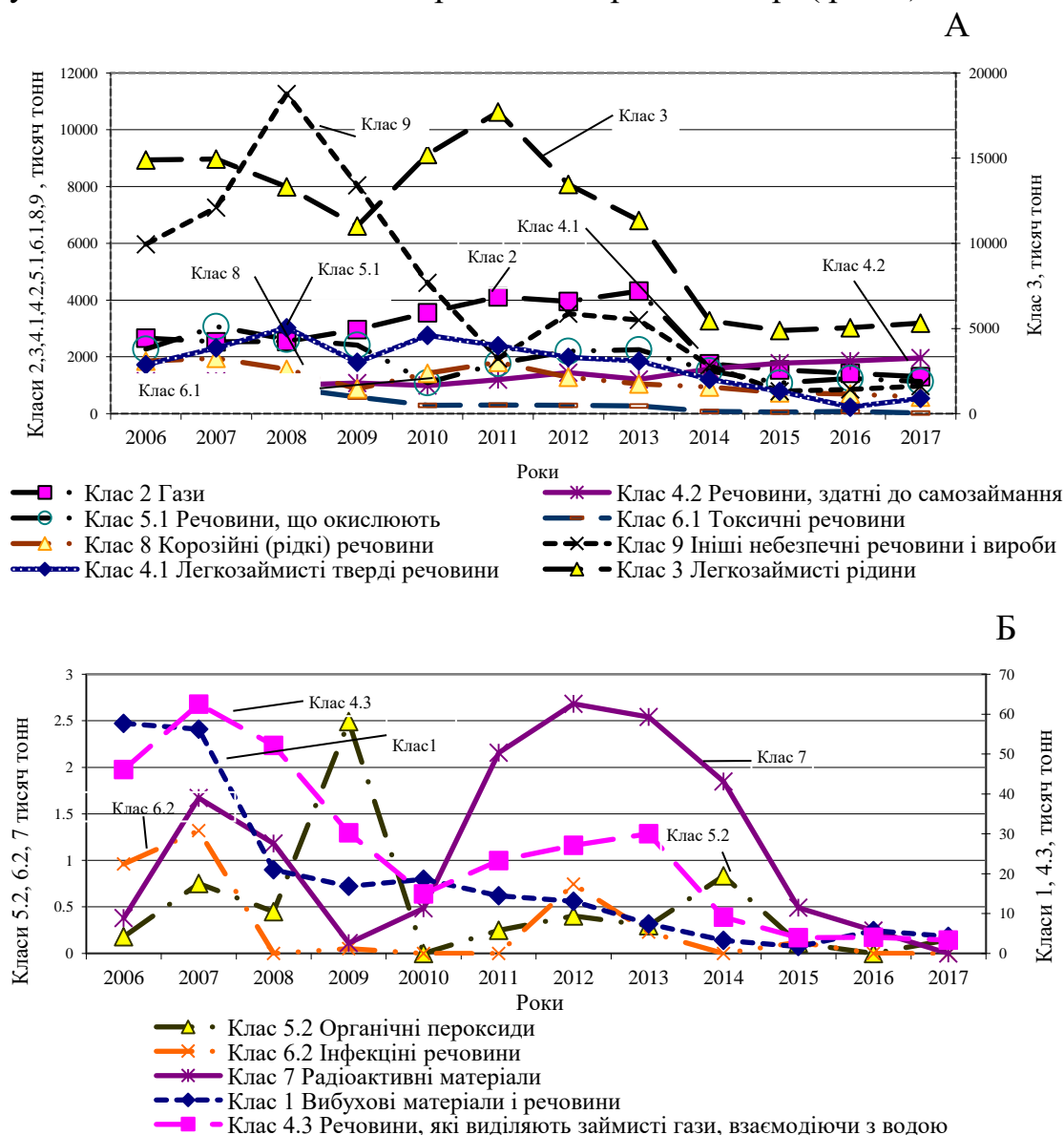


Рис. 4. Динаміка транспортування небезпечних вантажів залізничним транспортом за період з 2006 по 2017 роки

Відносна кількість вантажів різних класів небезпеки, транспортування яких залізничним транспортом України здійснювалося у період 2006 – 2017 рр., становить: клас 1 – 0,09%, клас 2 – 11%, клас 3 – 45%, клас 4.1 – 7 %, клас 4.2 – 5%, клас 4.3 – 0,12%, клас 5.1 – 7%, клас 5.2 – 0,002%, клас 6.1 – 2%, клас 6.2 – 0,001%, клас 7 – 0,005%, клас 8 – 5%, клас 9 – 18%, тобто класи 3, 9 та 2 є переважаючими за об'ємами перевезень. Відносна кількість видів додаткової небезпеки вантажів третього класу небезпеки і вантажів дев'ятого класу небезпеки наведено на рис. 5а та 5б, відповідно.

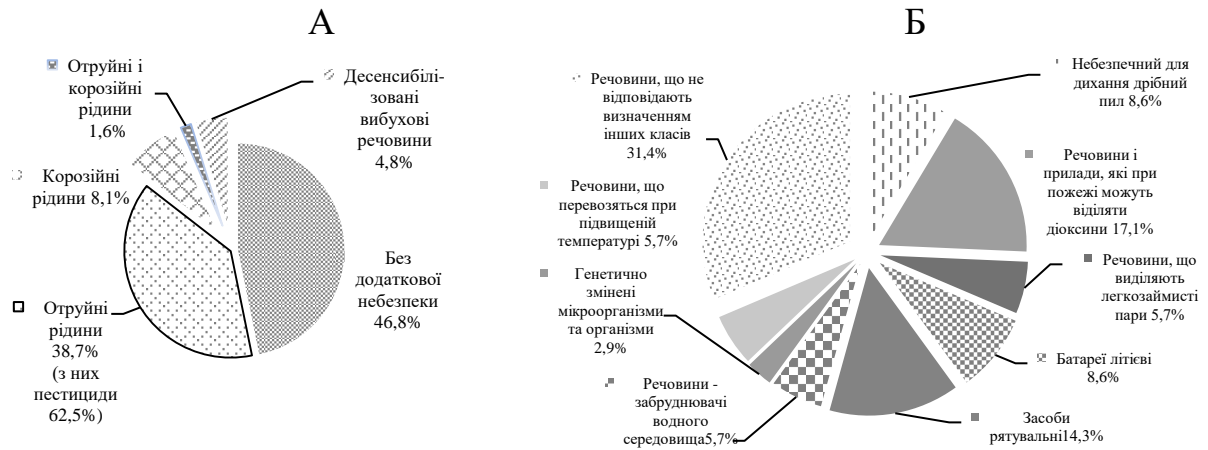


Рис. 5. Відносна кількість видів додаткової небезпеки вантажів третього класу небезпеки, рис.5а та відносна кількість видів небезпеки вантажів дев'ятого класу небезпеки, рис. 5б

Дані про відносну кількість вантажів другого класу небезпеки за їхніми небезпечними властивостями наведено на рис 6.

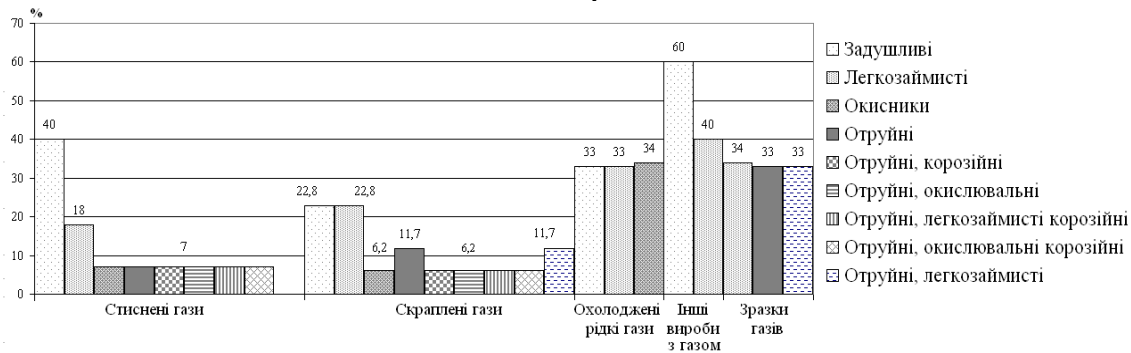


Рис. 6. Відносна кількість вантажів класу 2 за їхніми небезпечними властивостями

До вантажів цього класу належать стиснені (22%) і скраплені гази високого та низького тиску (43,9%); охолоджені рідкі гази (7,3%); гази, розчиненні під тиском (2,4%), аерозольні упакування і малі ємкості з газом (4,9%); інші вироби, що містять газ під тиском (12,2%) та зразки газів (7,3%).

Визначені основні ймовірні процеси типових сценаріїв розвитку аварійних ситуацій з небезпечними вантажами, що надало можливість виявити причинно-наслідкові зв'язки розвитку процесів у цих ситуаціях з характеристиками їхніх наслідків для довкілля та розробити теоретичну основу для створення бази знань СППР керівників оперативних штабів з ліквідації наслідків аварійних ситуацій усіх рівнів

управління. Наприклад, для вантажів третього класу небезпеки структурно-логічну схему ймовірних процесів розвитку типових аварійних ситуацій наведено на рис. 7.

Для прогнозування розвитку небезпечних чинників аварійних ситуацій при транспортування вантажів другого і третього класів небезпеки, а також сильнодіючих отруйних речовин, на залізничному транспорті використовуються методичні вказівки щодо визначення зон впливу небезпечних чинників аварій з такими вантажами.

На базі цих вказівок вперше були розроблені структурно-аналітичні моделі методів визначення величин небезпечних для довкілля та життєдіяльності людини чинників залізничних аварійних ситуацій з легкозаймистими вантажами і газами.

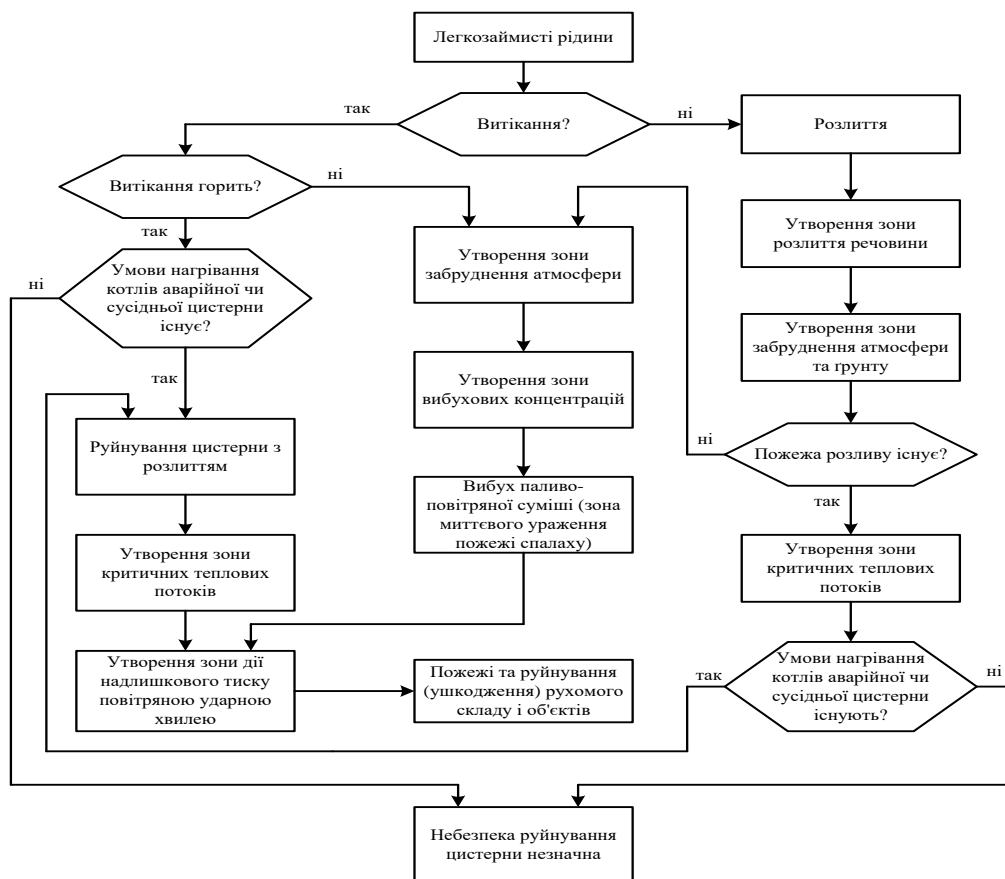


Рис. 7. Структурно-логічна схема ймовірних процесів розвитку типових аварійних ситуацій з вантажами третього класу небезпеки (легкозаймісті речовини)

На рис.8 наведена структурно-аналітична модель визначення величин небезпечних для довкілля і людини чинників залізничних аварійних ситуацій під час транспортування легкозаймистих речовин.

За розрахунковими формулами, представленими у вказівках, визначаються розміри вибухонебезпечних зон $R_{\text{нкмр}}(\tau)$, площі розлиття $S_p(\tau)$, мас розливої речовини $M(\tau)$ і випару $M_p(\tau)$, а також величини радіусів зон надлишкового тиску R_i при вибуху паливо-повітряної суміші. З метою розширення прогностичних можливостей цієї моделі вона доповнена структурними блоками оцінювання ймовірностей ушкоджень об'єктів довкілля $P_{\text{об}}$ та ураження людей $P_{\text{л}}$ від вибуху паливо-повітряної суміші та щільності теплового випромінювання з використанням розрахункових співвідношень, що представлені у відповідних методах і моделях.

З урахуванням необхідності визначення характеристик забруднення верхньої будови колії нафтопродуктами при аварійному руйнуванні залізничних цистерн модель доповнена структурним блоком з використанням отриманих автором розрахункових співвідношень щодо визначення об'єму $V_B(\tau)$, маси $M_B(\tau)$ і глибини просочення речовини у ґрунт. Для визначення величин концентрацій небезпечних величин в атмосфері під час аварійних ситуацій з легкозаймистими речовинами модель доповнена відповідним структурним блоком з використанням наведених нижче співвідношень. Введені структурні блоки показані на рис. 8 пунктиром.

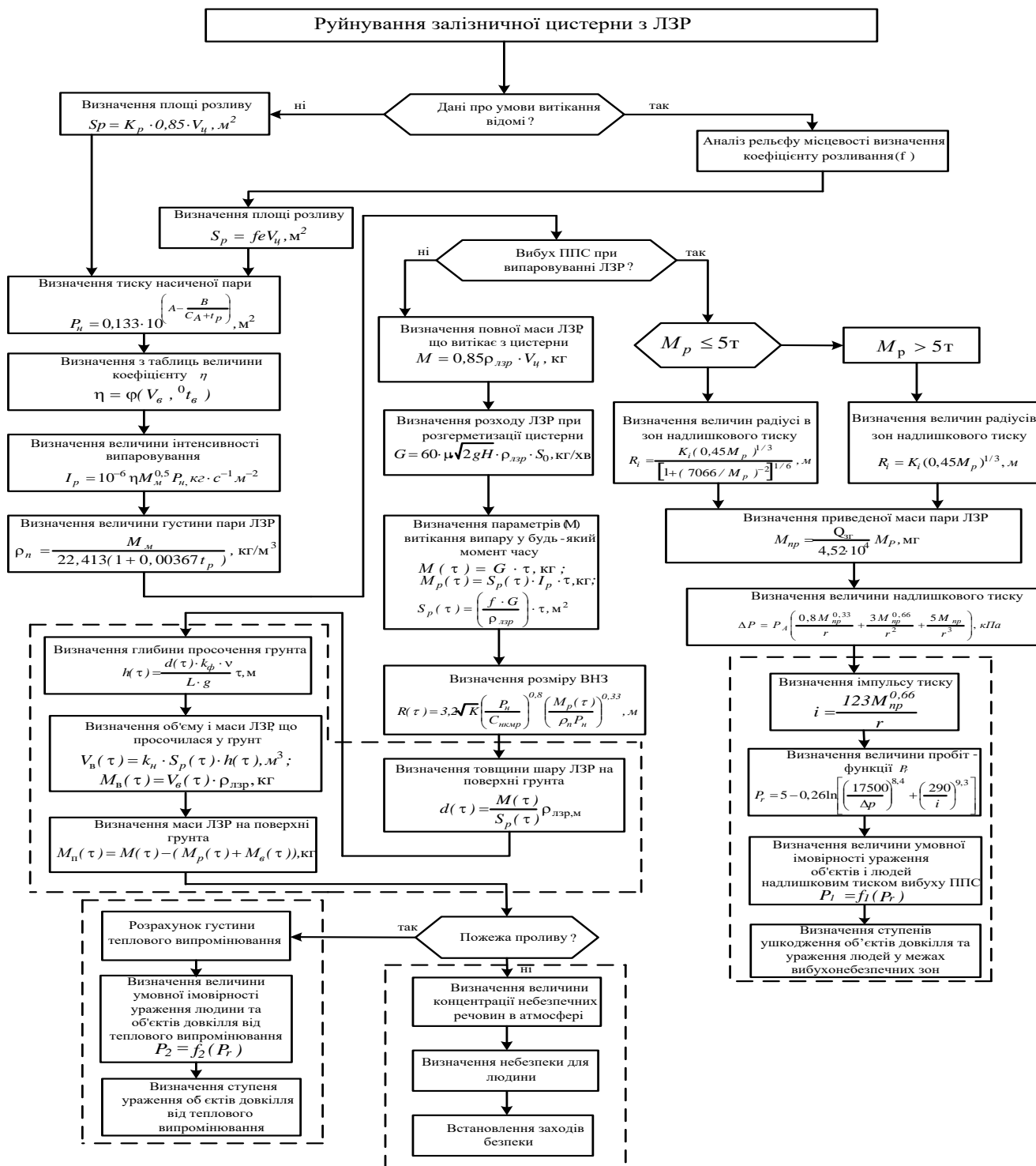


Рис. 8. Структурно-аналітична модель методу визначення величин небезпечних для довкілля та життєдіяльності людини чинників залізничних аварійних ситуацій при транспортуванні легкозаймистих рідин

У роботі проведено дослідження небезпечних для довкілля чинників аварійної залізничної ситуації, пов'язаної з витіканням легкозаймистої речовини (бензину А-95) через пошкоджений зливний пристрій ($S_0 = 78,5$ см) стандартної цистерни об'ємом $V_{ц} = 61,2$ м³ на одній із залізничних станцій Південно-Західної залізниці з нахилом місцевості менше 1% ($f = 5$). Інші умови досліджень: температура повітря $T_{п} = 28^{\circ}\text{C}$, швидкість повітряного потоку $V_{п} = 0$ м/с. Площа зливного пристрою $S_0 = 78,5$ см², внутрішній діаметр цистерни $H = 2,8$ м, ступінь заповнення цистерни $\epsilon = 0,85$.

Характеристики аварійної ситуації при витіканні усієї маси бензину ($M=42000$ кг) у продовж повного часу витікання ($\tau_{пв} = 50$ хв) наведені у табл.2.

Таблиця 2

Характеристики аварійного витікання бензина з цистерни

Час (τ), хв	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Площа розлиття ($S_p(\tau)$), м ²	26,25	52,5	78,75	105	131,25	157,5	183,75	210	236,25	262,5
Маса розлиття ($M(\tau)$), кг	4200	8400	12600	16800	21000	25200	29400	33600	37800	42000
Маса випаровування ($M_p(\tau)$), кг	2,4	9,6	21,6	38,4	60,0	86,5	117,7	153,7	194,6	240,2
Маса всмоктування ($M_b(\tau)$), кг	0,01	0,04	0,09	0,14	0,23	0,33	0,46	0,61	0,77	0,96
Маса на поверхні ґрунта ($M_n(\tau)$), кг	4197,6	8390,4	12578,3	16761,5	20939,8	25113,2	29281,8	33445,7	37604,6	41758,2
Радіус зони загазування ($R(\tau)$), м	12,8	20,2	26,4	31,9	36,9	41,7	46,1	50,4	54,5	58,4

Дані табл.2 свідчать про те, що у штильових умовах, які є найнебезпечнішими навколо аварійної цистерни, найбільш негативний вплив на довкілля за цей період розвитку аварійної ситуації становлять випари легкозаймистої речовини у повітря, накопичення її на поверхні ґрунту із збільшенням площі розливу і радіуса зони загазування.

Характеристики подальшого розвитку аварійної ситуації після розливу усієї кількості легкозаймистої речовини наведені на графіку (рис. 9).

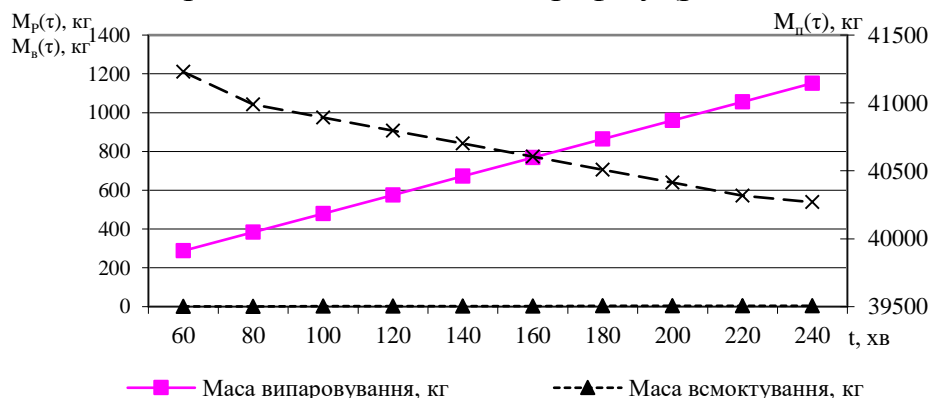


Рис.9. Залежності маси випаровування $M_p(\tau)$, маси всмоктування $M_b(\tau)$ і маси бензина на поверхні ґрунта $M_n(\tau)$ від часу

Подальший розвиток аварійної ситуації характеризується великою кількістю пари бензину, яка надходить у навколишнє середовище. Маса бензину, що всмоктується у баластну призму залізничного полотна, є незначною: на 60-й хв. – 1,2 кг, на 100-й хв. –

1,9 кг, на 140-й хв. – 27 кг; на 240-й хв. – 4,42 кг. Маса легкозаймистої рідини на поверхні ґрунта знижується з 41,2 т на 60-й хв. до 40,3 т на 240-й хв., а радіус зони загазування збільшується відповідно з 62 м до 98 м.

Недоліком існуючої структурно-аналітичної моделі щодо розрахунку величин небезпечних для довкілля чинників залізничних аварійних ситуацій з отруйними легкозаймистими речовинами є відсутність можливості визначення параметрів забруднення атмосфери у результаті викиду таких речовин.

У роботі проаналізовано методи і створені на їхніх основах програмні комплекси, які дозволяють моделювати розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері. Для цього детально розглянуті Ейлерові, Гауссові та Лагранжеві математичні моделі розсіювання небезпечних речовин в атмосфері та моделі забруднення атмосферного повітря.

Для моделювання розповсюдження пари бензину у визначених умовах використані лагранжево-ейлерові моделі атмосферного переміщення небезпечних речовин, які у світовій літературі також називають моделями гауссових «клубів» («puffs»). До моделей такого класу належать такі відомі моделі як DIPLOT і RIMPUFF, що є складовими системи Євросоюзу з ядерного аварійного реагування РОДОС, модель CALPUFF та деякі інші. Модель CALPUFF, яка прийнята Агентством з охорони довкілля США, визнана за кращу серед аналогічних моделей для оцінювання переносу забруднювачів та їхнього впливу на довкілля, вона є добре верифікованою. Розрахунок тривалого викиду здійснено шляхом обчислення послідовності миттєвих викидів – так званих лагранжево-ейлерових частинок, центри мас яких рухаються за вітром. Відмінність лагранжево-ейлерових частинок від звичайних лагранжевих частинок нескінченно малого розміру є те, що у даному випадку частинки характеризуються розмірами та розподілом концентрації у частинці. У системі координат, пов'язаній з центром мас, поле концентрації у кожній частинці розподілено у відповідності до поля концентрації миттєвого викиду, яке розраховується за гауссовою формулою. Таким чином, концентрація C речовини у точці (x,y,z) у момент часу t обчислюється як сума внесків усіх частинок:

$$C(x, y, z, t) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \sum_{p=1}^N \frac{q_p \tau \cdot H(t - p\tau \cdot p)}{\sigma_{xp} \sigma_{yp} \sigma_{zp}} \times \exp \left[-\frac{(x_p - x)^2}{2\sigma_{xp}^2} \right] \times \exp \left[-\frac{(y_p - y)^2}{2\sigma_{yp}^2} \right] \times \left\{ \exp \left[-\frac{(z_p - z)^2}{2\sigma_{zp}^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z_p + z)^2}{2\sigma_{zp}^2} \right] \right\}, \quad (1)$$

де використана Декартова система координат: вісь z спрямована вертикально вгору, рівень $z = 0$ співпадає з рівнем поверхні Землі; τ - тривалість інтервалу часу; $p\tau$ - момент появи p -ї частинки $H(t - p\tau)$ - функція Хевісайда, за рахунок використання якої у розрахунку враховується вплив тільки тих частинок, що встигли з'явитися до моменту часу t ; N - сумарна кількість частинок, що встигла з'явитись до часу t , q_p - середня потужність викиду за час τ ; σ_{xp} , σ_{yp} , σ_{zp} - параметри, які характеризують розподіл речовини у частинці по горизонталі та вертикалі. У формулі (1) поверхня Землі вважається пласкою і не враховує вплив кінцевої глибини проміжного шару хмари, що припустимо при розрахунку розповсюдження на відстані меншої за характерні розміри такої

глибини, тобто до 2-х км. Також зроблене стандартне припущення про повне відбиття хмари від поверхні Землі.

Для оцінювання σ_{xp} , σ_{zp} використовувались співвідношення McElroy & Pooler. Оскільки розрахунки проводились для випадку умов нейтральної стратифікації (категорія стійкості С за системою Паскуїлла) наведемо відповідні співвідношення для даної категорії стійкості:

$$\begin{aligned}\sigma_{xp} &= \sigma_{x0} + 0,22l_p(1+l_p)^{-1/2} \\ \sigma_{zp} &= \sigma_{z0} + 0,24l_p,\end{aligned}\quad (2)$$

де $l_p = \sqrt{x_p^2 + y_p^2}$ - шлях, яка пройшла частинка, а σ_{x0} , σ_{z0} описують початкову дисперсію хмари, яка щодо горизонтального розміру у розрахунках приймалася рівною характерному середньому розміру розливу ($\sigma_{x0} = 10$ м), а вертикальний початковий розмір приймається рівним $\sigma_{z0} = 1$ м. Зрозуміло, що для розрахунку у штильових умовах $l_p = 0$, а координати центрів мас частинок не змінюються і співпадають з координатами центра джерела: $x_p = x_s = const$. Тоді для врахування того, що навіть у таких умовах хмара підпадає під дію турбулентної дифузії (в атмосфері завжди є пориви вітру), формула (2) переводиться у часову залежність шляхом введення характерної швидкості поривів вітру u_0 , яка коливається від 0,5 до 1,0 м/с. Тоді формули (2) можна переписати у вигляді наступної часової залежності:

$$\begin{aligned}\sigma_{xp} &= \sigma_{x0} + 0,22u_0t(1+u_0t)^{-1/2} \\ \sigma_{zp} &= \sigma_{z0} + 0,24u_0t\end{aligned}\quad (3)$$

У розрахунках використовувалось значення $u_0 = 0,5$ м/с.

У розрахунках нехтувалося ефектами "важкого газу". Виходячи з положень теорії турбулентної дисперсії "важких газів", даним ефектом можна нехтувати якщо значення параметра Бріттера Π задовольняє умові:

$$\Pi = \frac{1}{u_0} \left(\frac{g}{D_0} \left(\frac{\rho_g - \rho_a}{\rho_a} \right) \left(\frac{Q}{\rho_g} \right) \right)^{1/3} \leq 0,15. \quad (4)$$

Для обраних параметрів ($u_0 = 0,5$ м/с, інтенсивність викиду $Q = 0,08$ кг/с, діаметр розливу $D=10$ м, початкова густина газу $\rho_{g0} = 1,2\rho_a$, густина атмосферного повітря $\rho_a = 1,2$ кг/м³), $\Pi_0 \approx 0,4$. Отже, на початковій стадії (близько до джерела), ефекти важкого газу за даним сценарієм є важливими.

Але при розповсюдженні газ розбавляється оточуючим повітрям, і вже на відстані $r_1 = 10$ м від джерела розливу початкова концентрація речовини зменшується у 10 разів. Це відбувається за рахунок гравітаційного руху «важкого газу», який генерує інтенсивне початкове перемішування.

Тоді густина газової суміші буде значно меншою:

$$\rho_g = 0,9\rho_a + 0,1\rho_{g0} = 0,92\rho_a + 0,1 \cdot 0,2\rho_a = 0,93\rho_a. \quad (5)$$

Відповідне значення параметра Π стає:

$$\Pi = \frac{1}{u_0} \left(\frac{0,02g}{D_0 + 2r_1} \left(\frac{Q}{\rho_{g0}} \right) \right)^{1/3} \approx 0,14, \quad (6)$$

що дозволяє для даного сценарію нехтувати ефектами «важкого газу» на відстанях понад 10 м від джерела викиду газу.

У результаті проведених розрахунків отримані залежності величини концентрації пари бензину (C , $\text{мг}/\text{м}^3$) на різних відстанях ($10\text{м} < r < 1000\text{м}$) через кожні 10 м від аварійного отвору при певних значеннях часу t від початку витoku кожні 10 хв. й до 24 год.

Розглянемо залежність концентрації (C , $\text{мг}/\text{м}^3$) пари бензину у довірлі від часу t на відстанях $R_1=10\text{м}$ (радіус розлиття речовини) і $R_2=100\text{м}$ (межа вибухонебезпечної зони). Дані щодо значень концентрацій на вказаних відстанях при різних значеннях часу надані у таблиці 3.

Таблиця 3

**Значення концентрацій пари бензину у довірлі на відстанях
 $R_1=10\text{м}$, $R_2=100\text{м}$**

$t, \text{сек} / \text{хв}$	600	1200	1800	2400	3000	4200	14400	15000	15600	16800
$R, \text{м}$	10	20	30	40	50	70	240	250	260	280
10	333	785	1240	1690	2260	1140	1130	6,29	2,7	0,982
100	0,51	2,93	6,24	9,88	14,7	11,1	10,2	6,29	2,7	0,982

Графіки залежності величини концентрації пари бензину у довірлі на відстанях $R_1=10\text{м}$, $R_2=100\text{м}$ від часу у логарифмічному масштабі представлені на рис. 10.

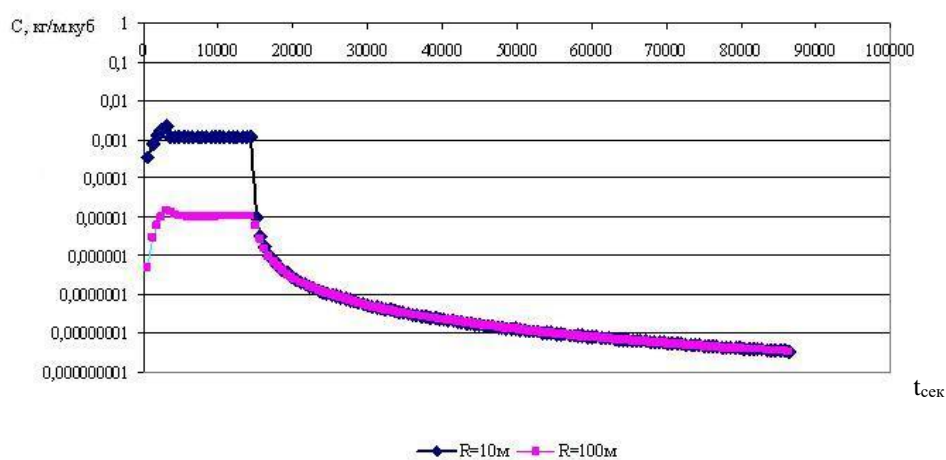


Рис. 10. Графіки залежності величини пари бензину на відстанях
 $R_1=10\text{м}$, $R_2=100\text{м}$ від часу

Графіки (рис. 10) свідчать про те, що за період з 10-ої та 50-ту хвилину значення концентрації збільшуються з $333 \text{ мг}/\text{м}^3$ до $2260 \text{ мг}/\text{м}^3$ для відстані $R_1=10\text{м}$, й від $0,51 \text{ мг}/\text{м}^3$ до $14,7 \text{ мг}/\text{м}^3$ для відстані $R_2=100\text{м}$. За період з 50-ої хвилини, на якій здійснилося повне витікання речовини з цистерни, й до 70-ї хвилини значення концентрації знизилася від $2260 \text{ мг}/\text{м}^3$ до $1140 \text{ мг}/\text{м}^3$ (відстань $R_1=10\text{м}$), за цей же період часу концентрація пари на відстані $R_2=100\text{м}$ знизилася від $14,7 \text{ мг}/\text{м}^3$ до $11,2 \text{ мг}/\text{м}^3$. Більш стрімке падіння концентрації на відстані $R_1=10\text{м}$ у порівнянні із зниженням концентрації на відстані $R_2=100\text{м}$ пояснюється тим, що швидкість падіння концентрації тим більша, чим менша відстань до джерела викиду. На значних відстанях від джерела, через деякий час після припинення його дії, падіння концентрації у повітрі

сповільнюється впливом хмари, яка встигла утворитися до припинення дії джерела. Відомо, що для точок, які знаходяться поблизу джерела, лише незначна частина хмари впливає на величини концентрації, які призводить до надзвичайно швидкого падіння рівня забруднення. У точках, що знаходяться на більшій відстані, швидкість падіння забруднення сповільнюється, і може навіть зростати деякий час після припинення дії джерела.

З 70-ої хвилини і до повного випаровування рідини з проливу концентрація пари змінюється з 1140 мг/м^3 до 1130 мг/м^3 й від $11,1 \text{ мг/м}^3$ до $10,2 \text{ мг/м}^3$ на відстанях $R_1=10\text{м}$, $R_2=100\text{м}$ відповідно. Починаючи з 250-ї хвилини середнє значення концентрації пари в атмосфері швидко вирівнюється і стає однаковою на усіх відстанях, що розглядаються. Розглянемо залежність концентрації пари бензину у довкіллі на різних відстанях від джерела викиду при певних значеннях часу (рис.11).

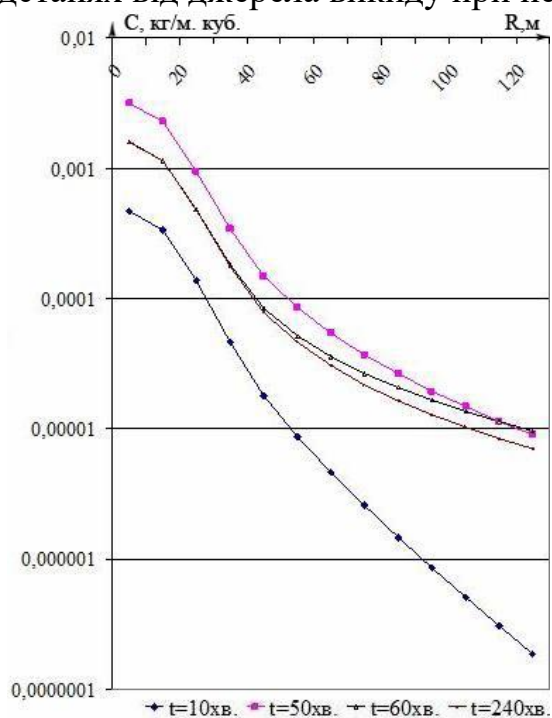


Рис. 11. Графіки залежності концентрації пари бензину А-95 на різних відстанях у визначені моменти часу

З рис. 11 можна зробити висновки про те, що на 10-ту хвилину концентрація пари зменшується від 467 мг/м^3 до 137 мг/м^3 на відстані до 20м. У цей період перевищення концентрації у порівнянні з ГДК= 100 мг/м^3 становить від 4,67 разів до 1,37 разів.

На 50-ій хвилині рівень концентрації перевищує ГДК у 31,5 рази на місці викиду і майже у 1,5 рази на відстані 40м. Концентрація стає нижчою за ГДК вже на відстані 50м. На 60-й хвилині рівень концентрації пари з проливу рідини перевищує ГДК від 15,87 разів до 1,81 рази (30м).

На відстані 40м концентрація стає меншою за ГДК ($C=84,1 \text{ мг/м}^3$). На 240 хвилині значення концентрацій на відстані до 40м практично співпадає із значенням концентрації для 60-ї хвилини, після чого здійснюється її різке падіння.

У розділі також розглянуто основні фізико-хімічні процеси горіння і вибуху небезпечних вантажів різних агрегатних станів. З розглянутих процесів розвитку таких аварійних ситуацій можна дійти до висновку, що навколишнє природне середовище має деяку інерційність реагування на зовнішню дію небезпечних чинників аварії, протидіє ним щодо зміни свого стану тобто має властивості самопідтримання і саморегуляції, що, за певних умов, може призвести до гальмування катастрофічних процесів аж до їх припинення.

Для прогнозування наслідків залізничних аварійних ситуацій за участю небезпечних вантажів у роботі розглянуто екологічну систему «аварійний рухомий склад – навколишнє середовище» як марковську систему масового обслуговування, що дало змогу виявити співвідношення між параметрами цієї системи, які призводять до катастрофічного наслідку.

Третій розділ присвячено науково-методичним основам управління реагуванням на залізничні аварійні ситуації при транспортуванні небезпечних вантажів.

Ліквідація наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами є взаємопов'язаними процесами, що потребують проведення комплексу заходів, спрямованих на запобігання загрозі людям, захист довкілля, збереження вантажу, відновлення руху поїздів і маневрової роботи у можливо короткий термін. При цьому важливе значення має й раціональне використання різноманітних ресурсів, необхідних для виконання цих заходів.

В роботі запропоновано концептуальну схему моделі організації реагування на залізничну аварійну ситуацію (рис.12).

У запропонованій моделі визначено основні етапи підготовки рішення керівника оперативного штабу з ліквідації наслідків залізничної аварійної ситуації з небезпечними вантажами і чинників, що впливають на ефективність здійснення цих етапів.

На підставі отриманої інформації оперативним штабом здійснюється оцінювання обстановки, що склалася, прогнозується найбільш імовірний стан розвитку такої ситуації, її фінальний стан, межі небезпечних зон, виявляються об'єкти, що потрапили у такі зони, приймається рішення щодо вжиття заходів, необхідних для ліквідування залізничної аварійної ситуації.

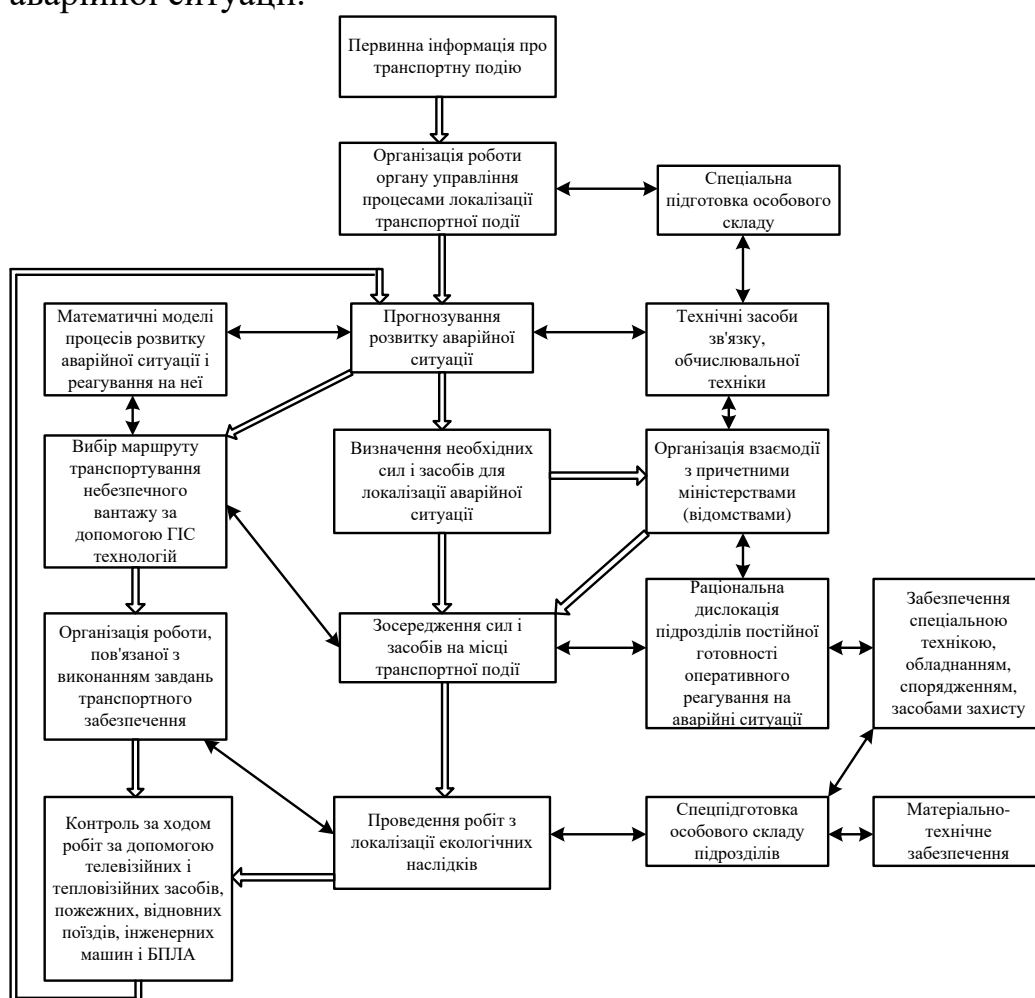


Рис.12. Концептуальна модель процесів та чинників ефективного реагування на залізничну аварійну ситуацію

У роботі детально розглянуто чинники аварійних ситуацій, які необхідно визначити для складання плану проведення ліквідаційних робіт.

Важливою складовою надійного функціонування залізничної транспортної системи є її спроможність реагувати на небезпечні чинники аварійних ситуацій за рахунок скоординованих дій ліквідаційних підрозділів. Тобто, надійність цієї системи під час перевезення небезпечних вантажів можна трактувати як її здатність у визначені терміни часу із заданою ймовірністю відновлювати своє безпечне функціонування після аварійних ситуацій, що супроводжуються дією небезпечних чинників, шкідливих для людей, довкілля, вантажів та об'єктів залізничного транспорту.

На рис. 13 наведена графічна модель функціонування і станів залізничної транспортної системи під час транспортування небезпечних вантажів.

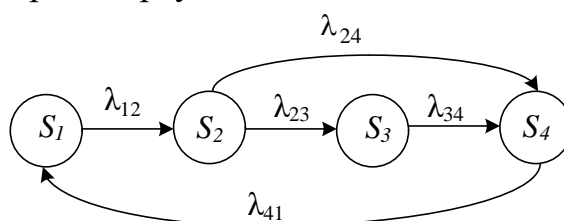


Рис. 13. Граф станів транспортної системи під час транспортування небезпечних вантажів

Розглянемо функціонування цієї моделі у аварійній ситуації, пов'язаній з витіканням небезпечного вантажу із залізничної цистерни, та реагування на таку ситуацію локалізаційних підрозділів.

Стани транспортної системи при перевезеннях небезпечних вантажів:

S_1 – стан безпечного функціонування системи (safe system), перед настанням аварійної ситуації, тривалістю t_{SS} ;

S_2 – стан дії небезпечних чинників аварійної ситуації тривалістю t_{DF} , який закінчується, коли зникає «джерело» потоку небезпечних чинників або коли до того, як закінчився «критичний час», прибули необхідні сили та засоби і починається локалізація аварійної ситуації, $0 < t_{CF} < t_{CR}$, що $t_{CF} = t_{SA} + t_{TT} + t_{RC} = t_{SA} + \frac{L}{V} + t_{RC}$.

Поняття «критичний час» (t_{CR}) – це час, протягом якого відбудеться повна втрата вантажу за умови, що не будуть вживатися ніякі ліквідаційні заходи згідно із регламентами (алгоритмами дій, встановленими відповідно до чинних нормативних документів).

S_3 – стан локалізації аварійної ситуації тривалістю t_{LE} , яка залежить від того, роботи якої тривалості належить виконати спочатку для припинення втрат вантажу (тривалість t_{SL}), а потім для рятування залишків вантажу, якщо він частково був втрачений (тривалість t_{QCR}), тобто $t_{LE} = t_{SL} + t_{QCR}$;

S_4 – стан ліквідування наслідків аварійної ситуації тривалістю t_{DR} , яка залежить від того, якої тривалості роботи належить для цього виконати.

Розглянемо поданий на рис. 13 граф станів транспортної системи під час перевезення небезпечних вантажів, що може супроводжуватися транспортними подіями, як схему марковського випадкового процесу з дискретними станами і безперервним часом.

Система рівнянь Колмогорова для такого графу має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_1}{dt} &= -\lambda_{12}P_1 + \lambda_{41}P_4, \\ \frac{dP_2}{dt} &= -(\lambda_{23} + \lambda_{24})P_2 + \lambda_{12}P_1, \\ \frac{dP_3}{dt} &= -\lambda_{34}P_3 + \lambda_{23}P_2, \\ \frac{dP_4}{dt} &= -\lambda_{41}P_4 + \lambda_{34}P_3. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Початкові умови:

за $t = 0$, $P_1 = 1$, $P_2 = P_3 = P_4 = 0$.

Для сталого режиму система рівнянь фінальних імовірностей станів системи буде мати вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{12}p_1 &= \lambda_{41}p_4 \\ (\lambda_{23} + \lambda_{24})p_2 &= \lambda_{12}p_1 \\ \lambda_{34}p_3 &= \lambda_{23}p_2 \\ \lambda_{41}p_4 &= \lambda_{24}p_2 + \lambda_{34}p_3 \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

З рівнянь системи (8) отримаємо рівняння (9):

$$p_1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23} + \lambda_{24}}p_1 + \frac{\lambda_{23}}{\lambda_{34}} \cdot \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23} + \lambda_{24}}p_1 + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{41}}p_1 = 1. \quad (9)$$

Інтенсивності відповідних потоків подій λ_{ij} слід виразити через уведені вище технологічні часові параметри моделі, наведеної на рис. 16:

$$\lambda_{12} = \frac{1}{t_{SS}}; \quad (10)$$

$$\lambda_{23} = \frac{1}{t_{CF}} = \frac{1}{t_{SA} + t_{TT} + t_{RC}} = \frac{1}{t_{SA} + \frac{L}{V} + t_{RC}}; \quad (11)$$

$$\lambda_{24} = \frac{1}{t_{CR} + t_{CF}}; \quad (12)$$

$$\lambda_{34} = \frac{1}{t_{LE}} = \frac{1}{t_{SL} + t_{QCR}}; \quad (13)$$

$$\lambda_{41} = \frac{1}{t_{DR}}, \quad (14)$$

де t_{CA} —час оцінювання інформації, складу ліквідаційних підрозділів і підготовки їх до виїзду; t_{DR} — час ліквідації наслідків аварійної ситуації; t_{TT} — час руху ліквідаційних підрозділів до місця аварійної ситуації; t_{RC} — час проведення розвідки і визначення плану робіт; L — відстань від місць постійної дислокації ліквідаційних підрозділів до місця аварійної ситуації; V — швидкість руху ліквідаційних підрозділів. З рівняння (9) і формул (10) – (14), отримаємо формулу (15), за якою можна розрахувати ймовірність безпечного та надійного функціонування транспортної системи p_{SS} (протягом якого не відбувається аварійних ситуацій за час t_{SS} , а їх наслідки локалізуються та ліквідуються за час $t_{SL} + t_{QCR} + t_{DR}$):

$$p_{SS} = p_1 = \frac{t_{SS}}{t_{SS} + \frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2t_{CF}}(t_{CF} + t_{LE}) + t_{DR}}. \quad (15)$$

Проведений аналіз формули (15) свідчить, що вона вірно відображає характер впливу усіх змінних, які до неї входять, на величину p_1 .

До формули (15) входить комплекс величин $\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2t_{CF}}$, якій містить дві величини, одна з яких є повністю незалежна від волі суб'єкта транспортної системи (t_{CR}), а друга

може бути ними цілеспрямовано змінена (t_{CF}), причому обидві вони можуть впливати на надійність системи. Цей аналіз виконано за допомогою розрахунків, результати яких наведені на рис. 14.

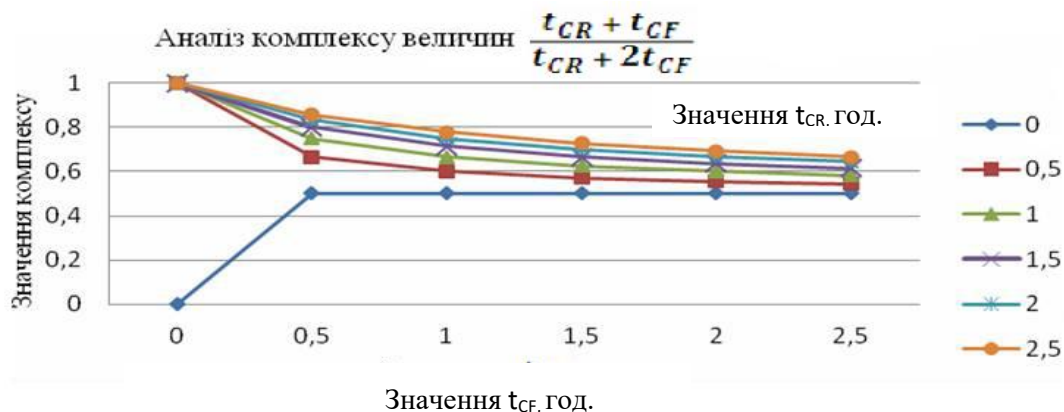


Рис. 14. Аналіз комплексу величин $\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2t_{CF}}$, що впливає на надійність транспортної системи

Рис. 14 демонструє, що при нульових значеннях обох змінних (t_{CR} та t_{CF}) функція є невизначеною (ділення на 0). При $t_{CR} = 0$ та будь-яких значеннях тривалості зосередження ліквідаційних сил та засобів $t_{CF} > 0$ (практично – це миттєва втрата вантажу), величина комплексу $\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2t_{CF}}$ завжди дорівнює 0,5. Таке сполучення змінних ($t_{CR} = 0$ та $t_{CF} > 0$), що може відповідати певним реальним ситуаціям, назване випадком «нетерплячого вантажу», тобто такого, який за своїми фізико-хімічними властивостями має на місці аварійної ситуації дуже короткий час перебування у незмінному стані.

Натомість протилежну ситуацію, коли $t_{CR} > 0$, а $t_{CF} = 0$, тобто коли ліквідаційні сили та засоби прибувають миттєво, назвемо ситуацією «швидкої допомоги» і відзначимо, що в цьому випадку величина комплексу $\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2t_{CF}}$ завжди дорівнює 1.

Таким чином, для випадку «нетерплячий вантаж» маємо формулу:

$$p_1 = \frac{t_{SS}}{t_{SS} + \frac{t_{CF} + t_{LE}}{2} + t_{DR}}, \quad (16)$$

а для випадку «швидка допомога» – формулу:

$$p_1 = \frac{t_{SS}}{t_{SS} + t_{LE} + t_{DR}}. \quad (17)$$

Очевидно, що ці два крайні випадки в реальності у чистому вигляді не трапляються, а формула (18) по суті є інтерполяцією між ними, що враховує ненульові додатні значення ($t_{CR} > 0$ та $t_{CF} > 0$)

Щоб зробити формулу (18) більш придатною для практичних технологічних (а згодом й економічних) розрахунків, застосуємо такі допоміжні формули:

$$t_{CF} = t_{SA} + t_{TT} + t_{RC} = t_{SA} + \frac{L}{V} + t_{RC}; \quad (18)$$

$$t_{LE} = t_{RC} + \frac{D_{LE}}{\mu_{LE}}, \quad (19)$$

де μ_{LE} – продуктивність робіт, які проводяться під час локалізації аварійної ситуації, у тому числі для збереження залишків вантажу, у кількості D_{LE} ;

$$t_{DR} = \frac{D_{DR}}{\mu_{DR}}, \quad (20)$$

де D_{DR} – обсяг робіт, що їх необхідно виконати для ліквідації наслідків залізничної аварійної ситуації; μ_{DR} – продуктивність виконання робіт з ліквідації наслідків залізничної аварійної ситуації, у тих же одиницях виміру за одиницю часу, що й D_{DR} .

Очевидно, що величини μ_{LE} та μ_{DR} , які використовуються у формулах (17) та (18), залежать від тактико-технічних характеристик сил та засобів ліквідаційних підрозділів, тому за величиною $p_{SS} = p_1$, отриманою за формулою (15), можна оцінити ефективність застосування цих сил та засобів.

До формули (16) входить комплекс змінних $t_{SA} + \frac{L}{V} + t_{RC}$, на які можна цілеспрямовано впливати технічними, технологічними та організаційними засобами і завдяки цьому збільшувати величину ймовірності $p_{SS} = p_1$ перебування транспортної системи у стані безпечного функціонування.

Наприклад, величини t_{SA} та t_{RC} можна суттєво скоротити, застосувавши для оцінювання, розвідки та моніторингу обстановки на місці аварійної ситуації безпілотні літальні апарати. Шляхом раціональної дислокації ліквідаційних сил та засобів (пожежно-рятувальних та інших поїздів), їх модернізації та підвищення швидкостей можна зменшити час ходу $t_{TT} = \frac{L}{V}$.

Проте на багато величин, що входять до розрахункових формул, немає можливості вплинути, їх можна лише враховувати як зовнішні незалежні чинники: «критичний час» t_{CR} залежить від властивостей небезпечної речовини, характеру пошкодження транспортного засобу, умов перевезення у ньому речовини, що зумовило її взаємодію із довкіллям, рельєфу місцевості, метеорологічних та інших умов на місці аварійної ситуації; невизначеними можуть бути й величини t_{SL} та q_R (залишки вантажу) та D_{DR} .

Розглянемо величину t_{SS} , яку можна визначити як середню за певний період часу T , значно більший за t_{SS} , якщо відомі кількість відмов у безпечному функціонуванні системи n_{SF} , які трапилися за цей період часу, тобто:

$$t_{SS} = \frac{T}{n_{SF}}. \quad (21)$$

Аналіз статистики вантажних перевезень небезпечних вантажів залізницями України за останні десять років дозволив встановити, що кількість таких транспортних подій з небезпечними вантажами залежить від загального тоннажу усіх вантажів, перевезених залізницями, що можна подати у вигляді залежності

$$y = 0,2001e^{0,1242x}, \quad (22)$$

де: y – кількість транспортних подій з небезпечними вантажами за рік;

x – вантажонапруженість залізниці млн т км брутто на 1 км за рік.

З урахуванням технологічних параметрів, що використовуються у моделі, величина $y = n_{SF}$, тоді:

$$n_{SF} = \frac{1}{5} \exp \left\{ - \frac{365 \cdot N \cdot G}{8 \cdot 10^6} \right\}, \quad (23)$$

де N – середньодобова кількість поїздів, що пропускаються лінією («умовною залізницею»), в обох напрямках; G – середня маса поїзда брутто, тонн.

З урахуванням формул (19) та (20), прийнявши період часу $T=365$ діб, вираз для середньої тривалості стану безпечного функціонування транспортної системи t_{SS} (у добах) буде:

$$t_{SS} = \frac{T}{n_{SF}} = 5 \cdot 365 \exp \left\{ -\frac{365 \cdot N \cdot G}{8 \cdot 10^6} \right\}. \quad (24)$$

Тепер формула (15) матиме вигляд:

$$p_1 = \left\{ 1 + \frac{\exp \left\{ -\frac{365 \cdot N \cdot G}{8 \cdot 10^6} \right\}}{5 \cdot 365} \left[\frac{t_{CR} + t_{CF}}{t_{CR} + 2t_{CF}} (t_{CF} + t_{LE}) + t_{DR} \right] \right\}^{-1}. \quad (25)$$

Відомо, що стрімкий розвиток будь-якого процесу у часі добре описується експоненціальною залежністю, тоді, взявши за основу формулу (24) нашої моделі, отримуємо:

$$t_{DR} = \frac{D_{DR}^{max}}{\mu_{DR}} \left[1 - \exp \left\{ -\frac{t_{CF} + t_{LE}}{t_{CR}} \right\} \right], \quad (26)$$

З формули (26) видно, що при $t_{CR} \rightarrow 0$ (миттєва втрата вантажу обсяг ліквідаційних робіт прагне до максимально можливого (оскільки $\exp \left\{ -\frac{t_{CF} + t_{LE}}{t_{CR}} \right\} \rightarrow 0$, то й $D_{DR} \rightarrow D_{DR}^{max}$), а при будь-якому ненульовому додатному $t_{CR} > 0$, чим більшим є час зосередження ліквідаційних підрозділів $t_{CF} + t_{LE}$, тим більшим є обсяг ліквідаційних робіт ($D_{DR} \rightarrow D_{DR}^{max}$). Таким чином, модель адекватно враховує як швидкість небажаного розвитку аварійної ситуації, що залежить від її характеру та зовнішніх умов, властивостей вантажу (через параметр t_{CR}), так і швидкість реагування на цю ситуацію (через $t_{CF} + t_{LE}$).

Величина продуктивності ліквідаційних сил та засобів μ_{DR} є «інтегральною» величиною, яку можна подати як

$$\mu_{DR} = \sum_{i=1}^m \mu_i n_i, \quad (27)$$

де μ_i – продуктивність ліквідаційних сил та засобів i -го виду, а n_i – кількість одиниць ліквідаційних сил та засобів i -го виду. Більше того, і величина t_{DR} є «інтегральною» в тому сенсі, що зазначені ліквідаційні підрозділи можуть застосовуватися одночасно для виконання різних видів робіт, причому ці роботи можуть закінчуватися у різний час. Таким чином, загальна тривалість ліквідаційних робіт t_{DR} визначається часом від початку «першої» (за черговістю) роботи і до закінчення «останньої» роботи, а її визначення та мінімізація можуть бути здійснені за допомогою відповідних математичних методів (наприклад, сітьового планування або методу PERT).

На підставі наведених вище формул промодельовані можливі два варіанти розвитку ситуації. В першому варіанті тривалість часу на оцінювання ситуації і прийняття рішення прийнято $t_{SA} = 0,50$ год., а у другому варіанті цей час прийнятий $t_{SA} = 0,25$ год. При моделюванні застосовано п'ять сполучень змінних величин, що відрізняються різними значеннями критичного часу (t_{CR} , год.), максимально можливими обсягами локалізаційних (D_{LE}^{max}) і ліквідаційних (D_{DR}^{max}) робіт в умовних одиницях

виміру, а також різними значеннями продуктивності сил та засобів виконання цих робіт (відповідно μ_{LE} та μ_{DR}).

Результати моделювання наведені на рис. 15.

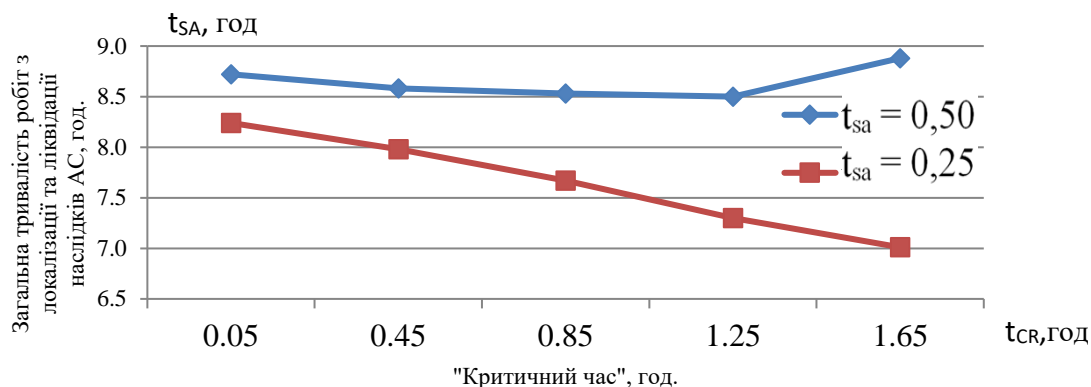


Рис. 15. Результати моделювання загальної тривалості локалізаційних та ліквідаційних робіт залежно від часу необхідного для прийняття рішення (t_{SA}), та «критичного часу» вантажу (t_{CR})

З рис. 15 видно, що скорочення часу на прийняття рішення щодо проведення ліквідаційних робіт призводить до значного зменшення загальної тривалості цих робіт, а отже, зменшення втрат вантажу, негативного впливу на довкілля і життєдіяльність людини та прямих й непрямих економічних втрат. Таким чином, очевидною є необхідність якнайшвидшого оцінювання обстановки, що склалася, та прийняття своєчасного обґрунтованого рішення з ліквідування залізничної аварійної ситуації. Це можливо за рахунок застосування новітніх технічних засобів моніторингу розвитку аварійної ситуації, а також застосування інформаційних технологій та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Проведений в розділі аналіз дій оперативного штабу в типових ситуаціях свідчить, що основними стадіями підготовки рішення є отримання інформації про транспортну подію; збір даних про обстановку, її аналізування та оцінювання; організація постійного моніторингу за зміною обстановки; підготовка пропозицій членів оперативної штабу та фахівців організацій, які беруть участь у проведенні ліквідаційних та локалізаційних заходів; всебічний аналіз інформації та пропозицій; прийняття рішення; доведення завдань до виконавців; організація взаємодії між різноманітними силами і засобами; всебічне забезпечення визначених дій підрозділів; контроль за виконанням.

У роботі детально розглянуті запропоновані автором структурно-логічні схеми дій оперативного штабу у аварійних ситуаціях, пов'язаних з виливанням (розсипанням), пожежею витікання та пожежею розливу небезпечного вантажу.

Структурно-логічна схема дій оперативного штабу у аварійній ситуації, пов'язаній з розливанням (розсипанням) небезпечного вантажу, наведено на рис.16.

При організації ліквідування наслідків аварійних залізничних ситуацій з небезпечними вантажами керівник оперативного штабу здійснює управління географічно розосередженими різноманітними ліквідаційними підрозділами, об'єднаними у тимчасово організовану структуру. Успішне розв'язування завдань

управління цією структурою обумовлюється успішним виконанням окремим підрозділом завдань за призначенням при тісній взаємодії з іншими підрозділами.

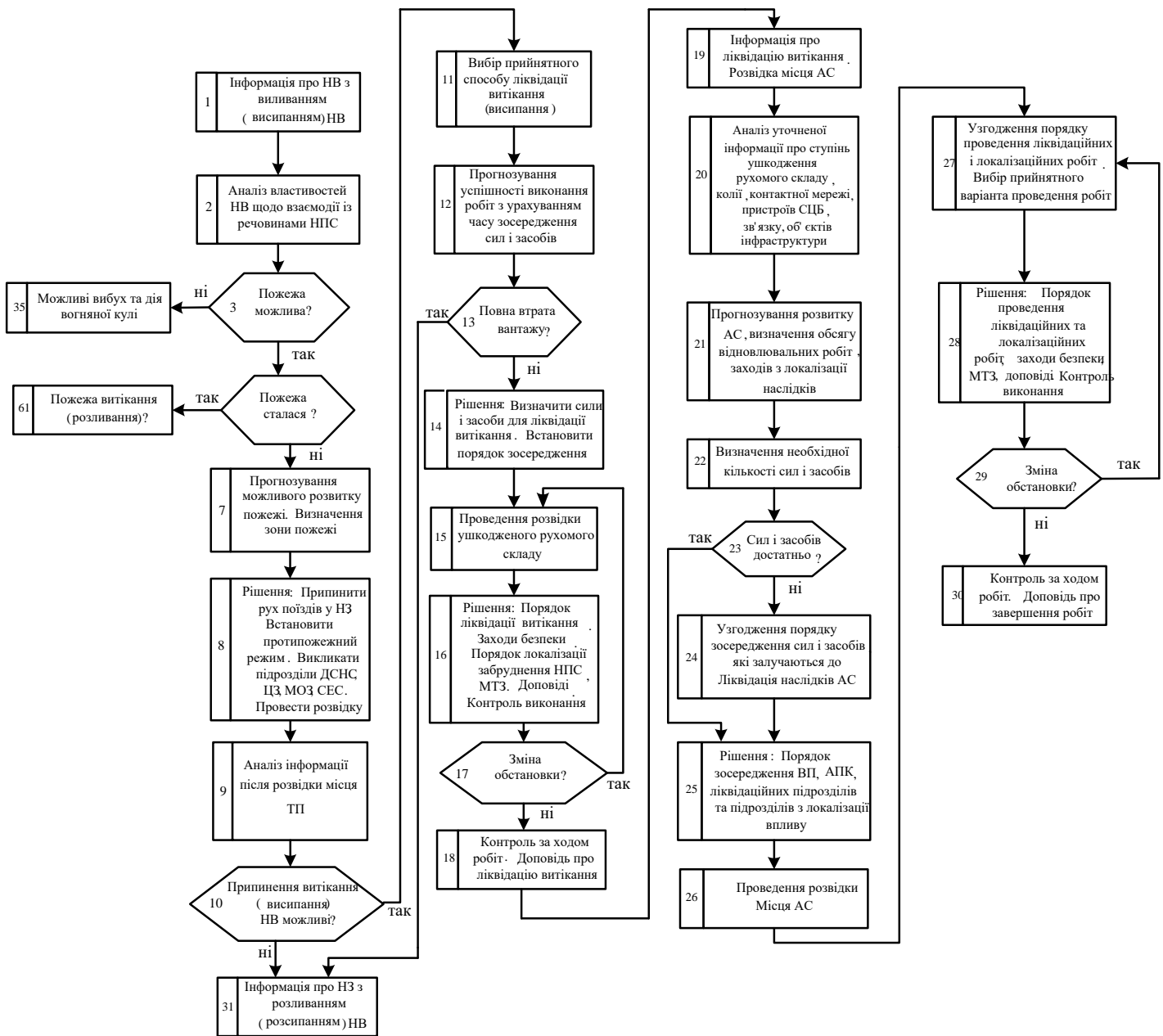


Рис. 16. Структурно-логічна схема дій оперативної штабу у аварійній ситуації, пов'язаній з розливанням (розсипанням) небезпечного вантажу

У розділі розглянуті також напрями підвищення ефективності застосування пожежних та відновних поїздів для ліквідації наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами.

Запропоновано використання на залізничному транспорті країни пожежних аварійно-рятувальних поїздів модульного типу, які нині широко застосовуються на залізницях більшості європейських країн, оснащення їх високопродуктивними установками подавання води, повітряно-механічної піни, порошкових складів, установками для подавання інертних газів та хімічної піни, а також пожежними роботами для гасіння продуктів газо- нафтопереробки, пожежна базах зберігання паливно-мастильних матеріалів та рухомого складу у залізничних тунелях.

Для модернізації пожежних поїздів залізничного транспорту необхідно розробити концепцію їх побудови, оснащення, утримання та бойового застосування, визначити місця дислокації та чисельність. З метою ефективного управління силами пожежної охорони усіх міністерств і відомств країни розробити і впровадити єдину автоматизовану систему аналізу обстановки та прийняття рішень на локалізацію наслідків аварій і катастроф, що супроводжуються пожежами небезпечних вантажів при їх перевезенні залізничним транспортом.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи обґрунтовано можливість застосування методів теорії систем масового обслуговування для формального опису процесів функціонування системи «навколишнє середовище – аварійний об’єкт – ліквідаційні підрозділи».

Типові аварійні ситуації, з погляду фізики процесів, які при них відбуваються, є нічим іншим, як більш чи менш інтенсивним потоком небезпечних чинників (отруйні гази, висока температура, розлиття небезпечних речовин тощо), що надходять від аварійного вантажу у навколишнє середовище та шкідливо впливають на людей, об’єкти інфраструктури та рухомий склад. Тому є усі підстави розглядати аварійний об’єкт (рухомий склад), на якому здійснюються роботи з локалізації аварійної ситуації та ліквідації її наслідків, як систему масового обслуговування (СМО). За такого теоретичного підходу можна використати класичні та адаптовані під конкретні задачі математичні методи теорії масового обслуговування.

Розглянемо функціонування СМО як об’єкт, на якому здійснюються локалізаційні роботи за умови, що є обмеження по довжині черги. Граф станів такої n -канальної СМО (де n – кількість ліквідаційних підрозділів) поданий на рис. 17. Стани СМО: S_0 – СМО вільна; S_{11} – у СМО одна вимога, обслуговування у першій фазі; S_{12} – у СМО одна вимога, обслуговування у другій фазі; S_{m1} – у СМО m вимог, обслуговування у першій фазі, черги немає; S_{m2} – у СМО m вимог, обслуговування у другій фазі, черги немає $S_{(m+\chi)1}$ – у СМО $(m+\chi)$ вимог (m вимог обслуговуються, χ знаходяться у черзі), обслуговування у першій фазі; $S_{(m+\chi)2}$ у СМО $(m+\chi)$ вимог (m вимог обслуговуються, χ знаходяться у черзі), обслуговування у другій фазі.

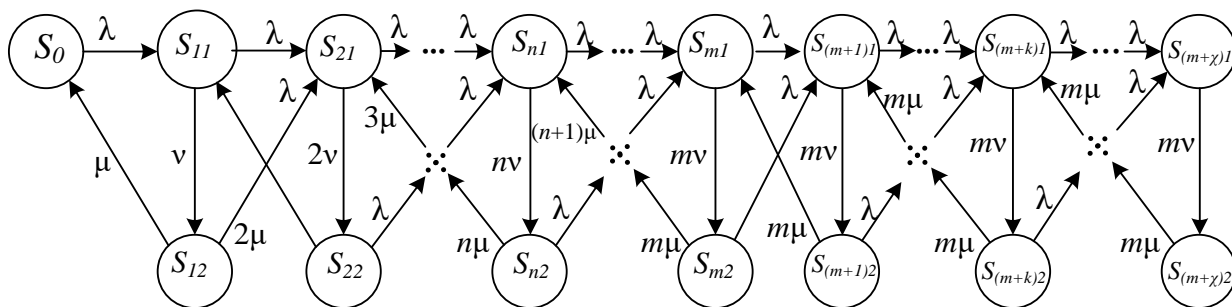


Рис. 17. Граф станів системи масового обслуговування з обмеженням на довжину черги

Особливістю такої СМО є те, що випадкова величина часу проведення ліквідаційних робіт ($T_{\text{лік}}$) складається з двох фаз: часу зосередження ($T_{\text{зос}}$) ліквідаційних підрозділів та часу проведення ліквідаційних робіт ($T_{\text{пр}}$).

Тобто, випадкова величина $T_{\text{лік}}$ розподілена за узагальненим законом Ерланга 2-го порядку з параметрами v та μ . Потік обслуговування у такій СМО не пуассонівський, тобто система не є марковською, і знайти імовірності станів СМО за методами для

марковських процесів з дискретними станами та безперервним часом можливості немає. Тому для аналізу таких СМО найбільш розповсюдженими є два напрями аналітичних методів аналізу немарковських систем: метод псевдостанів і метод напівмарковських процесів. У роботі використовується метод псевдостанів, який дозволяє достатньо просто, з математичного погляду, використовуючи звичайний запис рівнянь Колмогорова, аналізувати немарковську СМО як у сталому, так й не у сталому режимах функціонування.

Наприклад, для системи $M/E_2/2/4$ (двоканальної СМО з чотирма місцями у черзі, з пуассонівським вхідним потоком λ та ерланговським другого порядку потоком обслуговування) значення продуктивності роботи технічних засобів локалізації надзвичайної ситуації та ліквідації її наслідків μ знаходиться у визначених їхніми технічними характеристиками межах ($\mu_{\min_i} \leq \mu_i \leq \mu_{\max_i}$). При $\mu \leq \mu_{\min}$, навіть за умови найшвидшого зосередження ліквідаційних підрозділів на місці аварійної ситуації, ймовірність негативного впливу на довкілля ($P_{\text{нв}}$) залишається високою. Існують такі значення $\mu = \mu_{\min}$ та інтенсивності потоку зосередження ліквідаційних підрозділів ($\nu = \nu_{\max}$), коли μ_i є постійною величиною, тобто, за таких умов, продуктивність існуючих засобів стає вкрай недостатньо. При $\mu_{\min} \leq \mu \leq \mu_{\max}$ із збільшенням величини ν , величина ймовірності $P_{\text{нв}}$ зменшується. При $\mu > \mu_{\max}$ і довготривалому часі зосередження, величина ймовірності $P_{\text{нв}}$ залишається відносно великою, тобто у такому випадку зосередження стає недоцільним.

Додаткового дослідження потребує негативний вплив небезпечних чинників на навколишнє середовище залежно від тривалості проведення робіт ліквідаційними підрозділами.

На рис. 18 наведено графік залежності тривалості часу ліквідаційних робіт ($t_{\text{сист}}$) від величини продуктивності μ технічних засобів ліквідації (інакше кажучи, знаходження вимоги у СМО при повному циклі її обробки).

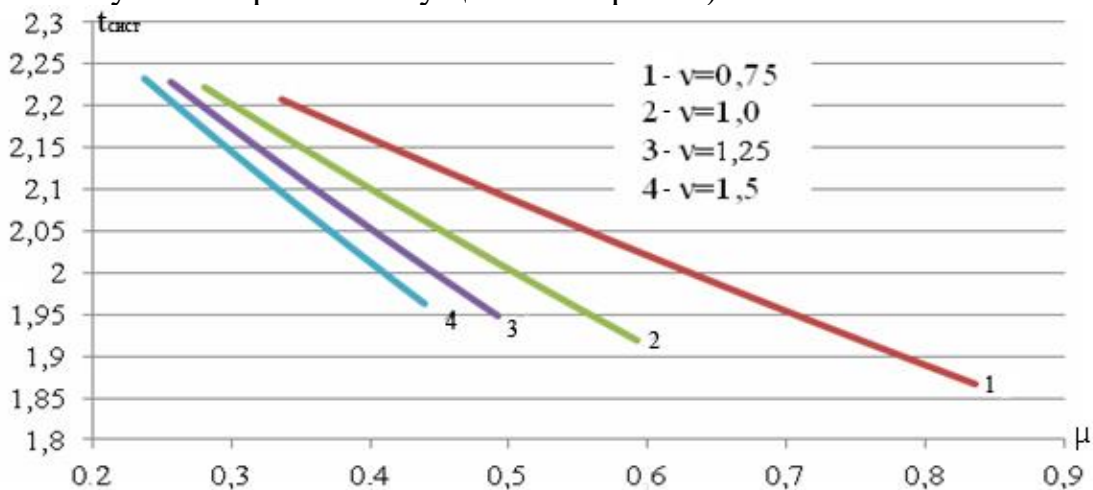


Рис. 18. Графік залежності тривалості часу ліквідаційних робіт від величини продуктивності μ за різних значень інтенсивності зосередження підрозділів ν у прийнятому діапазоні значень ймовірності успішного проведення ліквідаційних робіт ($0,8 \leq P_{\text{лік}} \leq 0,95$)

Різноманітний характер наслідків аварійних ситуацій нерідко вимагає одночасного застосування різних за призначенням ліквідаційних підрозділів з неоднаковими продуктивностями. Наприклад, проведення робіт з відбудови контактної

мережі, споруд і пристроїв сигналізації, централізації і блокування вимагають застосування ремонтно-відбудовних летючок зв'язку та відбудовних засобів контактної мережі. Тобто оперативне з'єднання таких відбудовних підрозділів з силами і засобами різної продуктивності ліквідує різні за характером наслідки аварійної ситуації.

Розглянемо мережу систем масового обслуговування, яка моделює функціонування одного з таких найбільш поширених оперативних з'єднань ліквідаційних підрозділів. На вхід мережі систем масового обслуговування надходить пуассонівський потік вимог з параметром λ (рис. 19).

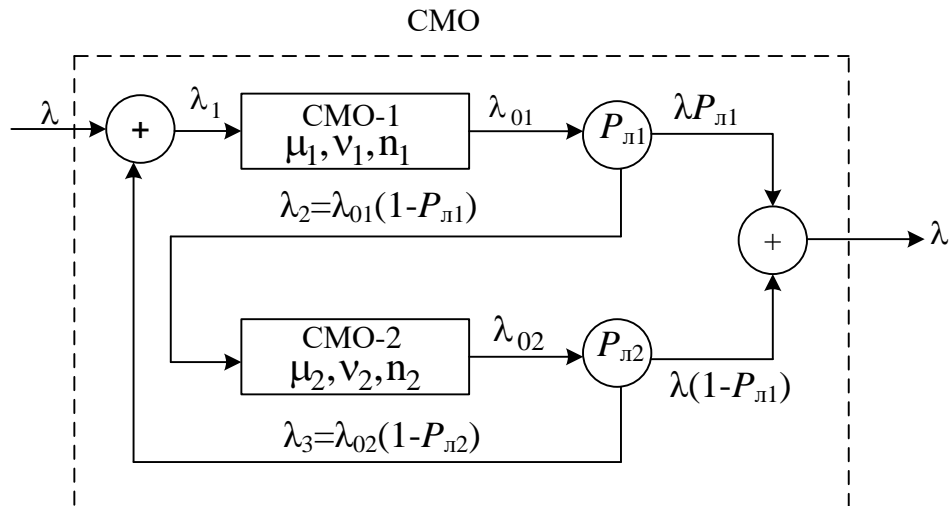


Рис. 19. СМО з обробленням однорідних вимог з повторним обслуговуванням у СМО-1

У СМО-1 здійснюється попереднє оброблення вимог вхідного потоку. З ймовірністю $P_{л1}$ вимоги обслуговуються та залишають СМО. З ймовірністю $P_{відм1} = 1 - P_{л1}$ вимоги, які отримали відмову у СМО-1, надходять у СМО-2 для повторного обслуговування. Вимоги, які обслужені у СМО-2, з ймовірністю $P_{л2}$ залишають СМО.

З рис. 20 видно, що існують такі співвідношення:

$$\lambda_1 = \lambda_{01}; \quad \lambda_2 = \lambda_{02}.$$

$$\lambda_2 = \lambda_{01}(1 - P_{л1}) = \lambda(1 - P_{л1}) = \lambda P_{відм1} \quad (28)$$

$$\lambda_2 = \lambda_{01}(1 - P_{л1}) \cdot P_{л2}^{-1} = \lambda P_{відм1} \cdot P_{л2}^{-1};$$

$$\lambda_3 = \lambda_2(1 - P_{л2}) = \lambda(1 - P_{л1})(1 - P_{л2}) \cdot P_{л2}^{-1} = \lambda P_{відм1} \cdot P_{відм2} \cdot P_{л2}^{-1}.$$

Умови стаціонарної роботи такої СМО:

$$\omega_1 = \frac{\lambda}{n_1(\mu + v_1)} < 1; \quad \omega_2 = \frac{\lambda P_{відм1}}{n_2(\mu_2 + v_2)} < 1 \quad (29)$$

Середній час оброблення вимоги у системі:

$$\bar{t} = \bar{t}_{смo1} + \bar{t}_{смo2} P_{відм1} \cdot P_{л2}^{-1}, \quad \text{де } \bar{t}_{смo1,2} = \frac{0,5}{\lambda} (1 \cdot P_{1\varepsilon} + 2 \cdot P_{2\varepsilon} + \dots + (m + \chi) P_{m+\chi}). \quad (30)$$

Розглянемо, наприклад, результати функціонування системи масового обслуговування з обробленням однорідних вимог з повторним обслуговуванням у СМО-1, коли компонентами такої СМО є СМО-1 ($M/E_2/1/3$) та СМО-2 ($M/E_2/2/2$).

Графіки залежності величини ймовірності $P_{л}$ успішного проведення ліквідаційних робіт та середнього часу проведення робіт від величини продуктивності μ та кількості

ітерацій k при різних значеннях інтенсивності зосередження ($\nu = 0$ та $\nu = 0,7$) наведені на рис. 20а та 20б відповідно.

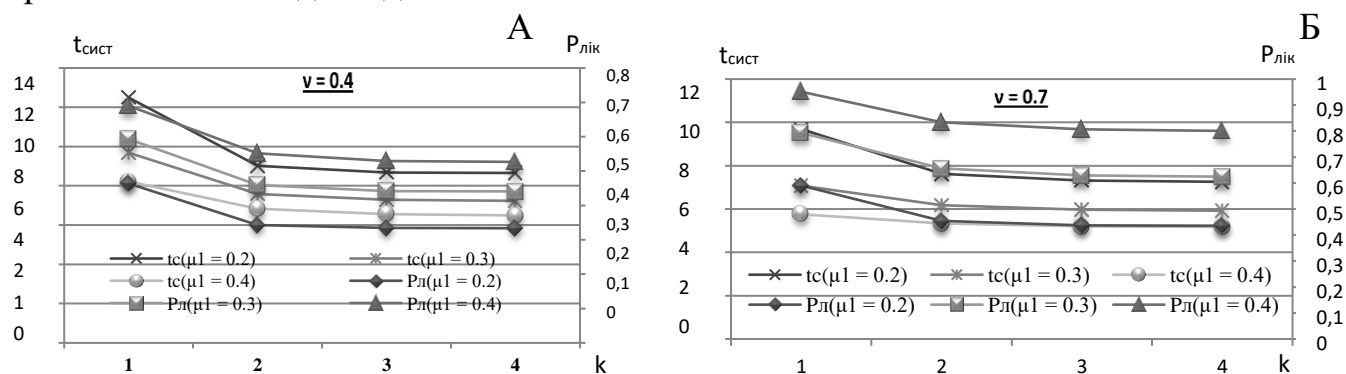


Рис. 20. Графіки залежності ймовірності $P_{л}$ проведення ліквідаційних робіт та середнього часу проведення таких робіт \bar{t}_c від величини продуктивності ліквідаційних підрозділів μ та числа ітерацій k

З графіків рис. 20 видно, що зі збільшенням числа ітерацій k величини ймовірності $P_{л}$ та середнього часу проведення ліквідаційних робіт \bar{t}_c знижуються за рахунок збільшення величини потоку на вході СМО-1. Дані про результати функціонування цієї СМО наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Дані про результати розрахунку функціонування СМО

ν	μ	$\sum_1^4 \bar{t}_c$	Діапазон $P_{л}$	ν	μ	$\sum_1^4 \bar{t}_c$	Діапазон $P_{л}$
0,4	0,2	98,6	$0,35 \leq P_{л} \leq 0,45$	0,7	0,2	32,6	$0,42 \leq P_{л} \leq 0,60$
0,4	0,3	37,5	$0,45 \leq P_{л} \leq 0,57$	0,7	0,3	25,2	$0,64 \leq P_{л} \leq 0,80$
0,4	0,4	29,0	$0,54 \leq P_{л} \leq 0,68$	0,7	0,4	22,1	$0,80 \leq P_{л} \leq 0,95$

Дані табл.4 свідчать про те, що із збільшенням величини інтенсивності ν зосередження ліквідаційних підрозділів на 43%, при відповідних значеннях інтенсивності μ проведення ліквідаційних робіт, діапазон ймовірності $P_{л}$ успішного проведення цих робіт значно розширюється. Так при $\nu = 0,7$ та $\mu = 0,4$ діапазон $P_{л}$ буде $0,80 \leq P_{л} \leq 0,95$, а при $\nu = 0,4$ та $\mu = 0,4$ він становить $0,54 \leq P_{л} \leq 0,68$. Збільшення величини інтенсивності μ від 25% до 33% призводить до зменшення сумарного часу проведення ліквідаційних робіт приблизно з 11% до 16% при $\nu = 0,4$. При $\nu = 0,7$ діапазон зменшення терміну проведення таких робіт становить від 12% до 15,5%.

Результати застосування наведених вище математичних моделей дозволяють визначити ймовірності станів залізничної транспортної системи, які обумовлені діями небезпечних для довкілля й життєдіяльності людини чинниками аварійних ситуацій: властивостями небезпечних вантажів і неефективними діями ліквідаційних підрозділів та їхніх з'єднань. У зв'язку з цим виникає необхідність комплексного оцінювання таких чинників, тобто ризику завдання ними шкоди, у тому числі й у вартісному вимірі. Такий ризик запропоновано визначати за формулою:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_i P_j(i) U_i, \quad (31)$$

де P_i – імовірність знаходження довкілля під дією небезпечних чинників аварійної ситуації, яка визначена вище; $P_j(i)$ – імовірність настання дії небезпечних чинників аварійної ситуації внаслідок нераціональних дій j -х ліквідаційних підрозділів у i -й ситуації;

$$U_i = \sum_{i=1}^n H_i C_i, \quad (32)$$

де H_i та C_i повинні трактуватися таким чином:

H_i – кількість компонент (людей, повітря, води, ґрунтів, рухомого складу, споруд тощо), на які впливають небезпечні чинники i -ї ситуації; C_i – вартість одиниці компонента, на яку впливають небезпечні чинники, визначена у прямий чи непрямий спосіб.

Наведені формули можна застосовувати для оцінювання впливу залізничних аварійних ситуацій на довкілля.

У **п'ятому розділі** дисертаційної роботи доведено, що для ефективного управління діями ліквідаційних підрозділів під час реагування на залізничні аварійні ситуації з небезпечними вантажами доцільно застосовувати мережецентричний метод управління складними ергатичними ієрархічними системами. Реагуванню на залізничні аварійні ситуації, які супроводжуються пожежами або вибухами небезпечних вантажів, притаманна просторова масштабність і необхідність впровадження у контур управління прогностичної складової для оцінювання загроз від небезпечних чинників такої аварійної ситуації, а також моделювання можливого результату дій ліквідаційних підрозділів. Мережецентричний метод управління дозволяє реалізовувати режим ситуаційної поінформованості, який детально розглянутий в дисертаційній роботі. Втілення його у практику можливе завдяки формуванню і підтриманню цілісного контекстного інформаційного середовища та залучення у процес його актуалізації якомога більшого числа джерел первинної інформації. Він передбачає наявність єдиного інформаційного простору на мережі, до складу якої входить мережа управління, що об'єднує ситуаційні центри дирекцій залізничного транспорту, пункти управління регіональних філій залізниць з відповідним диспетчерським і черговим персоналом, необхідними засобами зв'язку та інформаційними технологіями, а також мережі ліквідаційних підрозділів з їхніми персоналом і технікою.

Скорочення часу на підготовку та прийняття раціонального рішення керівника оперативного штабу щодо організації узгоджених дій ліквідаційних підрозділів, а, отже, й зменшення терміну на відновлення сталого функціонування залізничного транспорту і зменшення шкідливого впливу на довкілля та життєдіяльність людини небезпечних чинників аварійних ситуацій неможливо без застосування цими підрозділами високопродуктивних технічних засобів і передових технологій проведення ліквідаційних робіт.

Кожен відновний та пожежний поїзди, інженерні машини, спеціальні автотриси і дрезини ліквідаційних підрозділів необхідно оснастити комп'ютерною технікою з Wi-Fi, GPS та GSM-модулем, відповідними датчиками і системами відеоспостереження за допомогою яких інформація про хід робіт, обстановку на об'єкті і стан техніки через

безпроводні мережі Wi-Fi надходять до сервера СППР, де опрацьовуються, створюючи загальну інформаційну картину, яка дозволяє приймати раціональне рішення.

Формування цілей та їх реалізація є однією з важливіших процедур прийняття управлінських рішень щодо реагування на аварійні ситуації. Мережецентричні методи комп'ютерної технології генерації цілей для проведення заходів реагування на залізничну аварійну ситуацію реалізуються у три етапи: формування можливих цілей паралельної локалізації аварійної ситуації та ліквідації її наслідків; комп'ютерне узгодження цілей з урахуванням їхньої несуперечливості, результатів аналізу наслідків аналогічних аварійних ситуацій та обмежень, що виникають у процесі розвитку існуючої аварійної ситуації; комп'ютерне оцінювання, ранжування та вибір цілей.

Особливостями комп'ютерного ранжування цілей реагування на залізничні транспортні події є необхідність урахування можливості доступу до місць проведення ліквідаційних заходів. Наприклад, при сходженні з рейок поодинокого рухомого складу на одноколіїній залізничній колії, коли колія ушкоджена та узбіччя не дозволяють розташування відновної техніки, постановка рухомого складу на рейки за допомогою залізничного вантажопідйомного крана можлива тільки після відбудови залізничної колії.

Аналіз реалізації сценаріїв ліквідації наслідків залізничних транспортних подій свідчить про те, що вони здійснюються поетапно, з використанням на кожному етапі певних ресурсів протягом часу тривалості етапу. В разі нестачі ресурсів для кожного з таких етапів, реалізується більш пріоритетний етап.

Звідки виникає переборна задача знаходження етапів виконання сценаріїв залежно від необхідних ресурсів для кожного етапу та наслідків залізничних аварійних ситуацій. Тобто, задача зводиться до відомих методів сітьового планування виконання робіт.

Запропоновано формальний опис залізничної аварійної ситуації за допомогою системи продукційних правил для створення бази знань та опрацювання в середовищі СППР керівника оперативного штабу реагування на аварійну ситуацію рекомендацій щодо ліквідування такої ситуації.

Розглянемо на прикладі умовної залізничної аварійної ситуації процес вироблення продукційних правил бази знань комп'ютерної системи управління щодо формування цілей та їх реалізації в ситуації MS_1 , коли дирекція залізничних перевезень має достатню кількість ліквідаційних підрозділів U_{RC} , залучення підрозділів сторонніх організацій не потрібна $\overline{U_{OA}}$, є необхідність змін в організації перевізного процесу у межах дирекції CT_R , то керівництво ліквідацією наслідків аварійної ситуації бере на себе штаб дирекції CL_{III} . Продукційне правило, яке описує цю ситуацію має вигляд:

$$MS_1: \left[\left(U_{RC} \wedge \overline{U_{OA}} \wedge CT_R \right) \rightarrow CL_{III} \right]. \quad (33)$$

Формулювання продукційних правил дає науково-методичну основу не тільки для формального опису ситуації, яка потребує управління, але й для визначення необхідного та достатнього рівня управління в цій ситуації. Для цього в роботі обґрунтовано критерії доцільності передачі функцій прийняття рішень на відповідний рівень управління. Це забезпечує синергетичний ефект від запровадження принципу мережецентричного управління, адже при цьому в одному пункті управління концентруються усі необхідні повноваження та види ресурсів.

Планування та виконання робіт на кожному етапі ліквідаційних робіт потребує обміну великою кількістю інформації (накази, доповіді тощо).

«Складність» повідомлення визначається тим, що в ньому може міститися декілька «простих» повідомлень. Вона вимірюється коефіцієнтом складності $k_w \geq 1$, величина якого залежить від характеру виконуваних робіт.

Математична модель процесу надходження повідомлень з урахуванням їх складності має вигляд:

$$I_w(t) = mk_w \left(1 - e^{-\frac{k_w t}{\bar{t}_w}}\right), \quad (34)$$

де $I_w(t)$ – кількість повідомлень, з урахуванням їх складності, у поточний момент часу t , одиниць «простих» повідомлень; m – кількість робіт (кожна тривалістю t_i), що виконуються послідовно, згідно з прийнятим порядком виконання робіт $i=\overline{1, m}$; k_w – коефіцієнт складності повідомлень при виконуваних роботах; \bar{t}_w – середня тривалість виконання однієї роботи,

$$\bar{t}_w = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m t_i. \quad (35)$$

Дослідження показали, що загальна кількість доповідей r становитиме

$$r = \sum_{j=1}^m (r_{max} \cdot j + r_{min}(m - j)). \quad (36)$$

При цьому ймовірності подання доповідей про порушення технологічних процесів виконання робіт P_{j1} та доповідей про нормальний хід технологічних робіт P_{j2} визначаються:

$$P_{j1} = \frac{r_{j1}}{r} = \frac{r_{max} \cdot j}{\sum_{j=1}^m (r_{max} j + r_{min}(m - j))}; \quad P_{j2} = \frac{r_{j2}}{r} = \frac{r_{min} \cdot (m - j)}{\sum_{j=1}^m (r_{max} j + r_{min}(m - j))}. \quad (37)$$

Математичні сподівання кількості доповідей про порушення ходу робіт становить та кількості доповідей про нормальний хід робіт буде:

$$M[r_{j1}] = \sum_{j=1}^m \frac{r_{max} \cdot j}{\sum_{j=1}^m (r_{max} \cdot j + r_{min}(m - j))} \cdot j; \quad M[r_{j2}] = \sum_{j=1}^m \frac{r_{min} \cdot (m - j)}{\sum_{j=1}^m (r_{max} \cdot j + r_{min}(m - j))} (m - j). \quad (38)$$

Математичне сподівання загальної кількості доповідей (яке й визначає обсяг інформації) становить:

$$M[r] = M[r_{j1}] + M[r_{j2}]. \quad (39)$$

Залежність зміни $M[r]$ від максимальної величини конкретизації повідомлення r_{max} наведена на рис. 21.

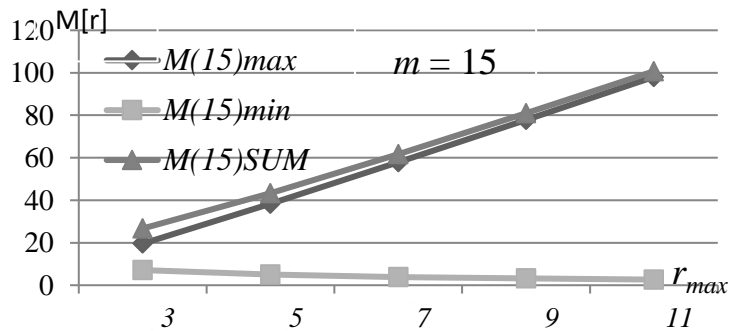


Рис. 21. Залежність середньої кількості повідомлень від їх максимальної кількості та кількості робіт

З рис. 21 видно, що із збільшенням величини r_{max} при визначеній кількості робіт m , величина математичного сподівання кількості доповідей $M[r]$ стрімко зростає за лінійним законом.

Дослідженнями встановлено, що щільність потоку інформації від i -ї служби на j -му етапі проведення ліквідаційних робіт визначається формулою:

$$\alpha_{ij} = \frac{dI_w(t)}{dt} = \frac{M[r]m^2}{T_e} e^{-\frac{m}{T_e}t}, \quad \sum_{i=1}^m t_i = T_e, \quad (40)$$

де T_e – гранично допустимий термін проведення ліквідаційних робіт.

Найбільша щільність інформаційного потоку припадає на початок етапу процесу виконання ліквідаційних робіт. Із збільшенням величини r_{max} інтенсивність потоку в цей період значно зростає, але при досягненні деякого часу інтенсивність потоку помітно стабілізується та стає практично незмінною до закінчення етапу.

А

Б

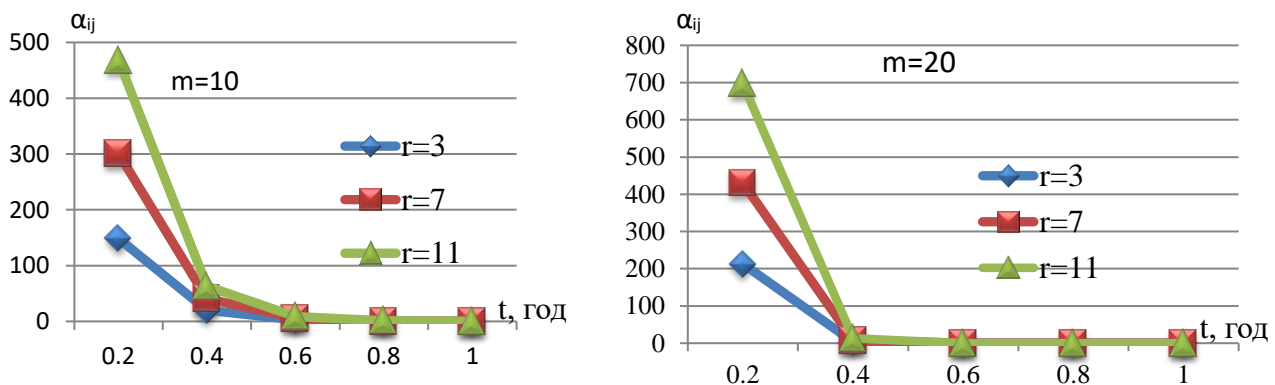


Рис. 22. Залежність щільності потоку інформації i -ої служби на j -му етапі проведення робіт α_{ij} від часу при різних значень кількості повідомлень r та за числа робіт m

З рис. 22 видно, що зменшення часу стабілізації інформаційного потоку, із збільшенням числа ліквідаційних робіт пояснюється зменшенням відносної «ваги значущості» окремого повідомлення та його впливу на увесь комплекс робіт.

Отриманий результат щодо швидкої стабілізації інформаційного потоку із збільшенням числа ліквідаційних робіт, які знаходяться в межах горизонту планування, тобто при збільшенні граничного часу ефективної дії рішення керівника оперативного

штабу (КОШ) на проведення більш ніж одного етапу робіт спонукає до розгляду необхідності прийняття ним рішення на проведення якомога більшої кількості послідовних етапів ліквідаційних робіт.

Це можливо за деяких умов. По-перше, необхідно мати різні інструменти (передусім адекватні математичні моделі) проведення точного та якісного прогнозування розвитку небезпечних чинників залізничної аварійної ситуації та ефективності дій ліквідаційних підрозділів. По-друге, потрібно мати можливість безпосереднього спостереження за обстановкою на місці проведення ліквідаційних робіт, наприклад, за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), з метою вироблення рішення КОШ та, у разі необхідності, корегувальної командної інформації.

Запропоновано для опису інформаційних процесів та перевірено обчислювальними експериментами математичні моделі, що адекватно відображають динаміку обміну інформацією в контурі керування «пункт управління – ліквідаційні підрозділи» за будь-якої кількості служб та підрозділів, зайнятих ліквідаційними роботами, та етапів цих робіт.

Нині в практику управління складними динамічними багатоланковими системами ввійшли управлінські системи типу ситуаційних центрів (СЦ) з продуктивними комплексами засобів автоматизації аналізу інформації для оперативного та об'єктивного оцінювання обстановки, яка склалася, розв'язування інформаційно-розрахункових завдань щодо прогнозування розвитку аварійної ситуації, вироблення планів дій ліквідаційних підрозділів, проведення заходів із всебічного забезпечення таких дій. До складу СЦ входять автоматизовані робочі місця оперативного штабу, робочі місця фахівців залізниці та фахівців інших організацій, які залучаються до проведення локалізаційних та ліквідаційних робіт.

На рис.23 наведено структурну схему ситуаційного центру управління ліквідацією наслідків залізничних аварійних ситуацій.

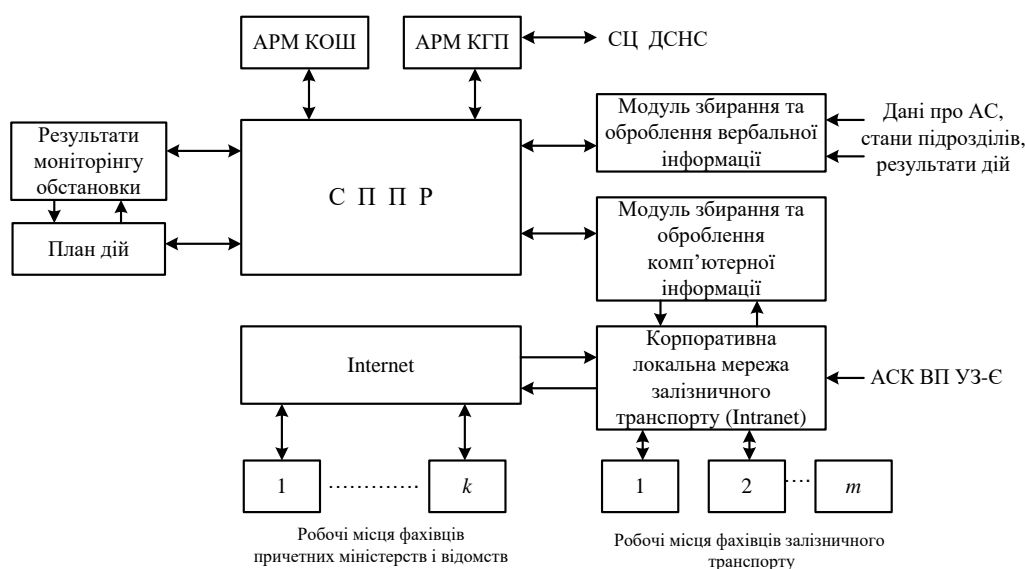


Рис. 23. Структурна схема ситуаційного центру управління ліквідацією наслідків залізничних аварійних ситуацій

Оснoву комплексу управління складає система підтримки прийняття рішень керівників оперативного штабу і штабу пожежогасіння (у випадку, коли аварійна ситуація супроводжується пожежею).

На підставі даних моделювання визначається необхідна кількість ліквідаційних підрозділів та успішність їхніх дій з урахуванням необхідного часу зосередження на місці транспортної події та продуктивності засобів проведення робіт. З урахуванням обраних критеріїв здійснюється інтерактивна процедура вибору варіанта рішення, яке може змінюватися за рахунок отримання нових даних про ситуацію; згідно з рішенням здійснюється планування заходів реагування на аварійну ситуацію по горизонталі та вертикалі. Сітьові графіки проведення операцій (робіт) доводяться до виконавців у вигляді наказів (розпоряджень). На підставі інформації виконавців відслідковується ступінь відповідності результатів дій підрозділів планам дій. У разі необхідності вносяться необхідні корективи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему зменшення шкідливого впливу на довкілля і життєдіяльність людини негативних чинників аварійних ситуацій під час перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом шляхом створення методологічних засад управління екологічною безпекою внаслідок удосконалення управління реагуванням на такі аварійні ситуації з використанням інформаційних технологій на основі мережецентричного управління. Основні наукові теоретичні та практичні результати досліджень можна узагальнити таким чином:

1. На основі аналізу сучасного стану перевезення небезпечних вантажів залізничним транспортом України показано, що характерними наслідками аварійних ситуацій при транспортуванні таких вантажів є витікання (80,7%), самозаймання (11,2%) і випаровування (5,6%), що зумовлює необхідність створення комплексу організаційно-технічних заходів, спрямованих на проведення ефективних дій щодо зменшення шкідливого впливу на довкілля та життєдіяльність людини негативних чинників цих ситуацій. Виявлено, що існує антагоністична суперечність між сторонами залізничної аварійної ситуації (природними і техногенними чинниками та цілеспрямованими діями ліквідаційних підрозділів), особливістю якої є наявність екологічної небезпеки «перебування» природних механізмів на місці розв'язування суперечності, тоді як зосередження ліквідаційних підрозділів та організація їхніх дій оперативним штабом ще потребує певних зусиль і часу.

2. Досліджено причини виникнення залізничних аварійних ситуацій внаслідок внутрішніх і зовнішніх ініціюючих подій, здійснена класифікація таких ситуацій за їхніми наслідками. Проаналізовано вплив на довкілля і життєдіяльність людини аварійних небезпечних вантажів за умов їхньої взаємодії з повітрям, водою, лугами, кислотами, металами, нафтопродуктами, а також при нагріванні, горінні і вибуху, на підставі чого розроблені типові сценарії розвитку залізничних аварійних ситуацій з вантажами різних класів небезпеки задля створення бази знань СППР керівників оперативних штабів ліквідації наслідків таких аварійних ситуацій.

3. З метою прогнозування параметрів небезпечних чинників залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами створені та тривалий час

використовуються комп'ютерні програми визначення розмірів вибухонебезпечних зон та надлишкового тиску при вибуху газів і легкозаймистих речовин, зон аварійного розливу легкозаймистих і горючих речовин, щільності теплового випромінювання від факела полум'я і вогняної кулі. Для удосконалення цих комп'ютерних програм запропоновано введення в них відповідних комп'ютерних процедур на основі розробленого методу визначення параметрів зон забруднення верхньої будови залізничної колії при аварійному розливі нафтопродуктів, а також процедур оцінювання ймовірності ураження людини, будівель і споруд від вибуху паливо-повітряної суміші та теплового випромінювання.

4. З метою розширення прогностичних можливостей методу визначення небезпечних для довкілля та життєдіяльності людини чинників залізничних аварійних ситуацій під час перевезення легкозаймистих вантажів запропоновано метод оцінювання часової залежності інтенсивності викиду небезпечної речовини, яка інтегрована у сучасну модель атмосферного перенесення таких речовин, що дозволяє врахувати часову мінливість джерела викиду (аварійного рухомого складу) і розрахувати часові залежності концентрації цієї речовини в атмосфері на різних відстанях від джерела викиду.

5. Формалізовано систему залізничних перевезень небезпечних вантажів у разі виникнення аварійних ситуацій залежно від ефективності реагування на такі аварійні ситуації; на підставі чого розроблені математичні моделі визначення ймовірності станів і рівня екологічної безпеки цієї системи. Встановлено, що для зменшення шкідливого впливу залізничної аварійної ситуації з небезпечними вантажами на довкілля і життєдіяльність людини критичне значення має своєчасність і обґрунтованість управлінського рішення щодо проведення узгоджених дій різнорідних ліквідаційних підрозділів, що дає синергетичний ефект не лише скорочення часу ліквідаційних робіт, а й зменшення негативних екологічних та інших наслідків аварійної ситуації. Комп'ютерними експериментами встановлено, що скорочення часу прийняття управлінського рішення всього на 15 хвилин призводить до зменшення загальної тривалості цих робіт у середньому від однієї до майже чотирьох годин.

6. За результатами дослідження функціонування ліквідаційних підрозділів та їхніх оперативних з'єднань щодо відновлення безпечного стану і належного рівня екологічної безпеки залізничної транспортної системи доведена можливість застосування класичних методів теорії масового обслуговування та адаптовано ці методи для обґрунтування та моделювання різних схем організації проведення ними аварійно-відновних робіт та прогнозування і оцінювання результативності дій таких підрозділів. Встановлені кількісні співвідношення між інтенсивністю впливу небезпечних чинників залізничної аварійної ситуації на довкілля та людину, інтенсивністю зосередження і розгортання ліквідаційних підрозділів, продуктивністю їхніх дій та ймовірністю виконання ними ліквідаційних робіт.

7. За результатами проведеного аналізу дій оперативних штабів різних рівнів управління при ліквідуванні наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами доведено, що ефективність реагування на залізничні аварійні ситуації значно підвищується за умови застосування СППР керівника оперативного штабу із відповідними математичними моделями та структурно-логічними схемами дій оперативного штабу за критеріями ефективності системи ліквідування небезпечних для довкілля та життєдіяльність людини наслідків цих ситуацій – збалансованих термінів

відновлення руху поїздів (сталого функціонування транспортної системи) і необхідних для цього ресурсів.

8. За результатами дослідження процесів функціонування системи управління реагуванням на аварійні ситуації при транспортуванні небезпечних вантажів обґрунтовано критерії доцільності передачі функцій прийняття рішень на відповідний рівень управління, запропоновано структуру та функції ситуаційного центру реагування на залізничні аварійні ситуації. Запропоновано для опису інформаційних процесів та перевірено обчислювальними експериментами математичні моделі, що адекватно відображають динаміку обміну інформацією в контурі керування «пункт управління – ліквідаційні підрозділи» при будь-якій кількості служб та підрозділів, зайнятих ліквідаційними роботами, та етапів цих робіт. Встановлено, що для зменшення інформаційних потоків та їхньої стабілізації у цьому контурі управління доцільним є вироблення рішення керівника оперативного штабу не на один, а одразу на декілька етапів проведення ліквідаційних робіт. Встановлено, що для ефективного вироблення рішення з ліквідації наслідків аварійних ситуацій в умовах дефіциту часу критично необхідним є застосування СППР, яка повинна базуватися на розгалуженій високопродуктивній мережі зв'язку та сучасних засобах відеоспостереження. Використання такої СППР при ліквідуванні наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами дає змогу скоротити час на підготовку і прийняття раціонального рішення керівника ліквідації аварійної ситуації та інтенсифікувати проведення комплексу ліквідаційних заходів на 10–15 % у порівнянні з раніше існуючою системою підготовки та прийняття рішень.

9. Створення методологічних засад організації управління екологічною безпекою під час ліквідування наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами, яке полягає в удосконаленні методів, моделей і технологій аналізу обстановки, що склалася, прогнозуванні розвитку небезпечних чинників аварійної ситуації, розробленні узгоджених планів дій ліквідаційних підрозділів, виробленні за допомогою СППР ефективного рішення керівника оперативного штабу і своєчасному доведенні цього рішення до виконавців, впровадженні принципів мережецентричного управління складними ієрархічними динамічними системами, використанні високопродуктивних засобів проведення відновних робіт, здійсненні якісної професійної підготовки працівників оперативних штабів і ліквідаційних підрозділів дозволило за період з 2012р. по 2017р. зменшити шкідливий вплив на довкілля та життєдіяльність людини негативних чинників таких ситуацій щорічно в середньому на 1260 тис. грн і відновити стале функціонування залізничної транспортної системи у можливо короткий термін.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Юхимчук С. В. Моделі автоматизації вироблення рекомендацій керівнику гасіння пожежі на залізничному транспорті: монографія / С. В. Юхимчук, М. Д. Кацман. //Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2008. – 144 с.

2. Наукові основи техногенно-екологічної безпеки : монографія [Електроний ресурс]. Д. В. Зеркалов, М. Д. Кацман, М. Д. Адаменко, О. Г. Родкевич, Т. В. Пічкур/ За ред. Д. В. Зеркалова. – К.: «Основа», 2014. – 837с.

Публікації у фахових виданнях

3. Великодний В. В. Розширення функціональних можливостей АСК ВП Укрзалізниці / В. В. Великодний, М. Д. Кацман, О. І. Коліков, С. В. Юхимчук // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 1. – С. 21–23.
4. Юхимчук С. В. Використання інтелектуальних технологій для аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті/ С. В. Юхимчук, Т. О. Савчук, М. Д. Кацман // Системні дослідження та інформаційні технології. НТУУ «КПІ», м. Київ, 2009. – № 4. – С. 53–61.
5. Юхимчук С. В. Продукційні моделі оцінювання можливого розвитку аварії на залізничному транспорті при перевезенні радіоактивних речовин / С. В. Юхимчук, М. Д. Кацман, А. В. Вознюк // Весник Херсонського НТУ. – 2009. – № 1(34). – С. 438–440.
6. 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. 50–53.
7. Кацман М. Д. Підвищення ефективності бойового застосування пожежних поїздів / М. Д. Кацман, В. П. Лапін, В. К. Мироненко, О. Г. Родкевич, О. Г. Стрелко // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 1. – С. 39–41.
8. Мироненко В. К. Фактори оптимізації системи перевезень небезпечних вантажів / В. К. Мироненко, М. Д. Кацман, О. Г. Родкевич // Вагонний парк. – 2011. – № 8. – С. 39–41.
9. Ю. В. Гержод Ю. В. Модернізація пожежних поїздів на залізницях країни / Ю. В. Гержод, М. М. Горбаха, В. М. Дидківський, М. Д. Кацман. // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 3/4. – С. 14–16.
10. Кацман М. Д. Застосування пожежних поїздів для ліквідації транспортних подій з небезпечними вантажами // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техніч. праць. – Л.: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.12 – С. 96–101.
11. Кацман М. Д. Аналіз рекомендованих дій підрозділів залізниці у разі витоків, розливів та розсипів небезпечних вантажів при їх перевезенні залізничним транспортом / М. Д. Кацман, В. К. Мироненко, М. І. Адаменко, М. М. Горбаха // Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2012. – Вип. 21. – С. 152–159.
12. Кацман М. Д. Використання залізничних формувань у медичному забезпеченні військ та населення в історичному та сучасному аспектах / М. Д. Кацман, П. В. Лапін, О. Г. Родкевич, О. А. Горецький : зб. наук. праць ДЕТУТ Серія «Транспортні системи і технології». – Київ, 2014. – Вип. 24. – С. 208–213.
13. Мироненко В. К. Перспективи використання безпілотних літальних апаратів у ліквідації наслідків залізничних транспортних подій / В. К. Мироненко, П. В. Лапін, М. Д. Кацман // Залізничний транспорт України. – 2015. – № 4. – С. 43–48.
14. Кацман М. Д. Застосування інноваційних методик для забезпечення безпеки залізничного транспорту/ М. Д. Кацман, В. А. Жуков // Українська залізниця. – 2017. – № 7 – 8 (49–50). – С. 47–51.
15. Запорожець О. І. Оцінювання наслідків залізничних аварійних ситуацій з небезпечними вантажами / О. І. Запорожець, І. В. Ковалець, М. Д. Кацман // Система

управління, навігації та зв'язку. Зб. наук. праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Полтава, 2017. – № 6 (46). – С. 224-232.

Публікація у фаховому іноземному виданні

16. Кацман М. Д. Экологически негативное влияние железнодорожных аварий с опасными грузами / М. Д. Кацман, Н. И. Адаменко, Ю. А. Кулиш, А. С. Испулатова // Вестник Кокшетауского технического института Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. – № 1(13). – Кокшетау.: КТИ МЧС РК. – 2014. – С. 10–18.

Публікації у наукометричних виданнях

17. Кацман М. Д. Аналіз впливу на екологічний стан довкілля основних властивостей небезпечних вантажів, що перевозяться залізничним транспортом / М. Д. Кацман, М. І. Адаменко // Системи обробки інформації. – Харків. – 2012. – Вип. 5(103). – С. 158–164.

18. Кацман М. Д. Математична модель визначення ймовірностей можливих екологічних наслідків залізничних аварій / М. Д. Кацман. // Зб. наук. праць ХУПС. Харків. – 2013. – Вип. 1(34). – С. 182–185.

19. Кацман М. Д. Інформаційна модель ідентифікації екологічно небезпечних надзвичайних ситуацій / М. Д. Кацман, О. Г. Родкевич // Зб. наук. праць ХУПС. Харків. – 2015. – Вип. 1(42). – С. 126–131.

20. Кацман М. Д. Математичні моделі екологічно небезпечних транспортних подій / М. Д. Кацман, В. К. Мироненко, В. І. Мацюк // Системи обробки інформації. Харків. – 2015. – Вип. 3(128). – С. 125–131.

21. Мироненко В. К. Логіко-математична концептуальна модель ліквідації наслідків надзвичайної ситуації при залізничних перевезеннях небезпечних вантажів / В. К. Мироненко, М. Д. Кацман, В. І. Мацюк // Системи озброєння і військова техніка. Харків. – 2015. – Вип. 1(41). – С. 168–172.

22. Мироненко В. К. Підвищення ефективності бойового застосування підрозділів ліквідації наслідків надзвичайної ситуації при залізничних перевезеннях небезпечних вантажів з урахуванням екологічного аспекту / В. К. Мироненко, М. Д. Кацман, В. І. Мацюк // Системи озброєння і військова техніка. Харків. – 2015. – Вип. 2(42). – С. 168–172.

23. Мироненко В. К. Математична модель станів та надійності залізничної транспортної системи при перевезенні небезпечних вантажів / В. К. Мироненко, М. Д. Кацман, М. М. Горбаха, В. І. Мацюк // Системи обробки інформації. Харків. – 2015. – Вип. 9(134). – С. 161–167.

24. Мироненко В. К. Передумови створення СППР щодо ліквідації наслідків залізничних надзвичайних ситуацій на основі мережецентричних методів управління / В. К. Мироненко, М. Д. Кацман, В. І. Мацюк // Системи обробки інформації. Харків. – № 5(142). – 2016. – С. 163–171.

25. Кацман М. Д. Практичне застосування мережецентричних методів для управління реагування на залізничні надзвичайні ситуації / М. Д. Кацман, В. К. Мироненко, В. І. Мацюк // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних сил. – Вип. 2(47). – 2016. – С. 130–136.

26. Кацман М. Д. Система підтримки прийняття рішень мережецентричного управління реагуванням на надзвичайні ситуації / М. Д. Кацман, В. К. Мироненко, В. І. Мацюк // Системи озброєння і військова техніка. – № 2(46). – 2016. – С. 89–93.

27. Кацман М. Д. Математичні моделі інформаційних процесів при ліквідуванні залізничних надзвичайних ситуацій / М. Д. Кацман, В. К. Мироненко, В. І. Мацюк // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – № 2(23). – 2016. – С. 126–134.

28. Адаменко М.І. Аналіз існуючих математичних моделей і комп'ютерних програм для прогнозування розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері/ М.І. Адаменко, М.Д. Кацман, Є.С. Білецька//Системи обробки інформації. Харків. – 2018. – Вип. 1(152). – С. 155–162.

Публікації у наукометричних іноземних виданнях:

29. Katsman M., Mathematical model of decision support system for the head of the fire-fighting department on railways / M. Katsman, O. Kryvopishyn, V. Lapin. – San Diego, USA. – Reliability: theory & applications. – Vol. 2. № 03(22). – 2011. – P. 86–93.

30. Katsman M. D. Problematic model of ecological consequences of railroad accidents / M. D. Katsman, V. K. Myronenko, M. I. Adamenko // Reliability: theory & applications. Vol. 8. № 1(28). San Diego, USA. – 2013. – P. 72–85.

31. Katsman M. D., Mathematical model of ecologically hazardous rail. Traffic accidents / M. D. Katsman, V. K., Myronenko, V. I. Matsiuk // Reliability: theory & applications. – Vol. 10, № 1(36). – San Diego, USA – 2015. – P. 28–39.

32. Lapin. V. I. S. Blioh (1836 – 1901) Railway magnate and peacemaker, prominent scientist-railroader: economist, statistician and financier / V. Lapin, O. Kryvopishyn, M. Katsman. – San Diego, USA. – Reliability: theory & applications. – Vol. 2. № 04(23). – 2011. – P. 149–155.

Матеріали і тези доповідей на науково-практичних конференціях:

33. Юхимчук С. В. Система підтримки прийняття рішень керівників ліквідації аварії і пожежі небезпечних вантажів/ С. В. Юхимчук, М. Д. Кацман // Автоматизація: проблеми, идеи, решения: международная научно-техническая конференция, 10-15 сентября 2007 г. : тезисы доп. – Севастополь, 2007 г. – С. 241–243.

34. Кацман М. Д. Напрямок автоматизації оцінки обстановки і рішень керівників ліквідації надзвичайних ситуацій та гасіння пожеж небезпечних вантажів/ М. Д. Кацман, С. В. Юхимчук // Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті: І міжнародна науково-практична конференція, 15-18 вересня 2009 р.: тези доп. – Львів, 2009. – С. 73–75.

35. Кацман М. Д. Розробка моделі управління гасінням пожеж та реагуванням на аварійну ситуацію на залізничному транспорті / М. Д. Кацман // Проблеми інформатики і моделювання: ІХ міжнародна науково-технічна конференція, 26–28 листопада 2009 р.: тези доп. – Харків, 2009. – С. 69.

36. Мироненко В. К. Науково-методичні підходи до оцінки безпечності системи залізничних перевезень пасажирів і вантажів / В. К. Мироненко, М. Д. Кацман, О. Г. Родкевич // Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті: ІІ міжнародна науково-практична конференція, 20–22 вересня 2011 р.: тези доп. – Київ, 2011. – С. 120–122.

37. Кацман М. Д. Підхід до створення математичних моделей оцінювання ризиків при перевезенні залізницями небезпечних вантажів/ М. Д. Кацман, В. В. Маліцький // Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку: ІІ міжнародна науково-технічна конференція», 16–17 липня 2011 р. тези доп. – Київ, 2011. – С. 60.

38. Кацман М.Д. Оцінювання і прогнозування надзвичайних ситуацій на транспорті / М. Д. Кацман, В. К. Мироненко, О. Г. Родкевич, О. Г. Стрелко // Безпека життєдіяльності людини як умова сталого розвитку сучасного суспільства : IV міжнародна науково-практична конференція, 8–9 червня 2011р. тези доп. – Київ, 2011. – С. 300–302.

39. Кацман М.Д. Проблеми ліквідації аварій за участю небезпечних вантажів при їх перевезенні залізницями/ М. Д. Кацман, В. В. Маліцький // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: II міжнародна науково-технічна конференція, 15–16 грудня 2011 р.: тези доп. – Київ, 2011. – С. 60.

40. Кацман М. Д. Раціоналізація застосування пожежних поїздів для підвищення транспортної безпеки на залізницях / М. Д. Кацман, В. П. Лапін, О. Г. Родкевич // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: V міжнародна науково-практична конференція. – Сер. «Техніка, технологія», 15–16 березня 2011 р.: тези доп. – Київ, 2011. – С. 178–179.

41. Кацман М. Д. Використання математичних моделей для оптимізації чисельності пожежних поїздів/ М. Д. Кацман// Маркетинг і логістика в системах менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті: III міжнародна науково-практична конференція, 18-20 вересня 2012 р. : тези доп. – Харків, 2012. – С. 122–127.

42. Кацман М. Д. Математичні моделі розвитку та ліквідації залізничних аварій з небезпечними вантажами / М. Д. Кацман // Безопасность жизнедеятельности. Экологические и здоровье сохраняющие технологии: I українська наукова конференція, 15,16 березня 2013 р.: тези доп. – Харків, 2013. – С. 10–11.

43. Кацман М. Вероятностная модель определения эффективности действий по локализации экологических последствий транспортных событий / М. Кацман, С. Мирошниченко //RIADENIE BEZPEČNOSTI ZLOŽITÝCH SYSTÉMOV: Zborník vedecrých a odborných prác Medzinárodná vedecko-odborná konferencia, 24–28.02.2014r. : abstrakty, Liptovský Mikuláš, Slovakia 2014. – С.265–272.

44. М. Д. Кацман. Деякі питання організації ліквідації надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами/ М. Д. Кацман //Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті: IV міжнародна науково-практична конференція, 23–25 вересня 2014 р. тези доп. – Одеса, 2014. – С. 124–129.

45. Кацман М. Д. Необхідність застосування новітніх інформаційних технологій для організації ліквідації екологічних наслідків залізничних надзвичайних ситуацій/ М. Д. Кацман // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: IV міжнародна науково-технічна конференція, 4–5 грудня 2014 р. тези доп. – Полтава, 2014. – С. 69.

46. Кацман М. Д. Деякі проблеми створення СППР керівника оперативної групи з ліквідації екологічно небезпечних залізничних транспортних подій / М. Д. Кацман // Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління : V міжнародна науково-технічна конференція, 23,24 квітня 2015 р. тези доп. – Полтава, 2015. – С. 52.

47. Мироненко В. К. Моделювання впливу часу локалізації та ліквідації аварійного розливу нафтопродукту на характеристики зони забруднення верхньої будови залізничної колії / В. К. Мироненко, М. Д. Кацман, О. А. Горецький // Стратегія

качества в промышленности и образовании: XI международная конференция, 1–5 июня 2015 г. тези доп. – Варна, 2015. – С. 113–117.

48. Кацман М. Д. Інформаційна підтримка організації цивільного захисту на об'єктах Укрзалізниці / М. Д. Кацман // Проблеми автоматизації: V міжнародна науково-технічна конференція, 12–13 листопада 2015 р. тези доп. – Полтава, 2015. – С. 63.

49. Кацман М. Д. Методологічні основи створення новітньої системи управління реагуванням на залізничні надзвичайні ситуації/ М. Д. Кацман // Маркетинг і логістика в системі менеджменту на залізничному транспорті: VI міжнародна науково-практична конференція, 27-29 вересня 2016 р. тези доп. – Запоріжжя, 2016. – С. 129–141.

50. Кацман М.Д. Деякі шляхи забезпечення транспортної безпеки об'єктів залізничної інфраструктури і рухомого складу публічного акціонерного товариства «Українська залізниця»/ М.Д. Кацман, В.А. Жуков // Проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки у контексті інтеграції України в Європейській науково-інноваційний простір: XXII міжнародна науково-практична конференція, 11-13 вересня 2017 р. : тези. доп. – Одеса, 2017р. – С. 102 – 112.

АНОТАЦІЯ

Кацман М. Д. Методологічні засади організації управління екологічною безпекою під час ліквідування наслідків аварійних ситуацій на залізничному транспорті.– Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Національний авіаційний університет. Київ, 2018.

За результатами узагальнення світового досвіду та власних теоретичних і експериментальних досліджень вирішено актуальну науково-практичну проблему зменшення шкідливого впливу на довкілля і життєдіяльність людини негативних чинників аварійних ситуацій під час транспортування небезпечних вантажів залізничним транспортом внаслідок удосконалення управління реагуванням на такі аварійні ситуації.

У дисертації наведені результати дослідження та моделювання процесів впливу наслідків залізничних аварійних ситуацій на довкілля та життєдіяльність людини, а також процесів управління діями ліквідаційних підрозділів на основі інформаційної технології мережецентричного управління.

Аналітично та експериментально обґрунтовано математичні моделі розповсюдження в атмосфері забруднюючих речовин внаслідок залізничних аварійних ситуацій з легкозаймистими вантажами.

Формалізовано систему залізничних перевезень у разі виникнення аварійних ситуацій залежно від ефективності реагування на такі ситуації, на підставі чого розроблені математичні моделі для визначення ймовірності станів і рівня екологічної безпеки цієї системи.

Доведено, що ефективність реагування на залізничні ситуації з небезпечними вантажами підвищується за умови використання відповідної СППР, для створення якої запропоновані математичні моделі розвитку таких ситуацій і алгоритми дій керівника

оперативного штабу, а також математичні моделі визначення ефективності дій ліквідаційних підрозділів та їх з'єднань.

Доведено, що можливості залізничної функціональної підсистеми «Сили і засоби реагування на надзвичайні ситуації на залізничному транспорті» можуть бути суттєво збільшені завдяки управлінню ними із ситуаційних центрів на основі мережецентричного принципу управління складними ієрархічними ергатичними системами.

Ключові слова: екологічна небезпека, залізнична аварійна ситуація, навколишнє середовище, прийняття рішення, інформаційна технологія, система підтримки прийняття рішення, мережецентричне управління.

АННОТАЦІЯ

Кацман М.Д. Методологические основы организации управления экологической безопасностью при ликвидации последствий аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 21.06.01 – экологическая безопасность. Национальный авиационный университет. Киев, 2018.

По результатам обобщения мирового опыта и собственных теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научно-практическая проблема уменьшения вредного влияния на жизнедеятельность человека и окружающую среду негативных факторов аварийных ситуаций при транспортировке опасных грузов железнодорожным транспортом вследствие усовершенствования управления реагированием на такие аварийные ситуации.

В работе выявлено, что существует антагонистическое противоречие между сторонами экологически опасной железнодорожной аварийной ситуации (природные, технологические факторы и целенаправленные действия ликвидационных подразделений во главе с руководителем оперативного штаба), ее особенностью является «пребывание» природных механизмов на месте разрешения противоречия, тогда как сосредоточение ликвидационных подразделений и организация их действий оперативным штабом еще требует некоторых усилий и времени.

Исследованы причины возникновения железнодорожных аварийных ситуаций вследствие внутренних и внешних иницирующих воздействий, осуществлена классификация таких воздействий по их последствиям. Проанализировано влияние на жизнедеятельность человека и окружающую среду аварийных опасных грузов при их взаимодействии с воздухом, водой, щелочами, кислотами, металлами, нефтепродуктами, а также при нагревании, горении и взрыве, на основании чего разработаны типовые сценарии развития железнодорожных аварийных ситуаций с опасными грузами для использования в базе знаний системы поддержки принятия решения (СППР) руководителя оперативного штаба ликвидации аварии.

Аналитически и экспериментально обоснованы математические модели распространения в атмосфере загрязняющих веществ вследствие железнодорожных

аварийных ситуаций с легковоспламеняющимися жидкостями, что дает возможность прогнозирования развития в пространстве и времени негативных воздействий этих загрязнителей на людей и окружающую среду и определять эффективность мероприятий реагирования.

Формализовано влияние на окружающую среду системы железнодорожных перевозок в аварийных ситуациях в зависимости от эффективности реагирования на такие ситуации, на основе чего разработаны математические модели для определения вероятностей состояний и уровня экологической безопасности этой системы.

Установлено, что для уменьшения негативного влияния экологически опасных железнодорожных перевозок на людей и окружающую среду практическое значение имеет своевременность и обоснованность принимаемого руководителем оперативного штаба решения на проведение ликвидационных мероприятий, что дает синергетический эффект не только сокращения времени проведения таких мероприятий, но и уменьшения негативных экологических, экономических и других последствий аварийной ситуации, а также предложены расчетные методы для определения таких последствий.

Доказано, что эффективность реагирования на экологически опасные железнодорожные ситуации с опасными грузами повышается при условии использования соответствующей СППР, для создания которой предложены математические модели развития таких ситуаций и алгоритмы действий руководителя оперативного штаба, а также математические модели определения эффективности ликвидационных подразделений и их соединений.

Для специфических условий экологически опасных железнодорожных аварийных ситуаций разработаны и проверены на адекватность математические модели обмена информации в контуре управления «пункт управления – ликвидационные подразделения» для любого количества участвующих служб и подразделений.

Получил дальнейшее развитие метод продукционных правил для алгоритма формирования базы знаний экспертной системы СППР ситуационного пункта управления реагирования на экологически опасную железнодорожную аварийную ситуацию с опасным грузом, что дает возможность формального описания такой ситуации обработки в среде СППР вариантов решения и алгоритмов действий руководителя оперативного штаба.

Доказано, что возможности железнодорожной функциональной подсистемы «Силы и средства реагирования на чрезвычайные ситуации на железнодорожном транспорте» могут быть существенно увеличены за счет управления ими из ситуационных центров на основе сетцентрического управления сложными иерархическими эргодическими системами.

Ключевые слова: экологическая опасность, железнодорожная аварийная ситуация, окружающая среда, принятие решения, информационная технология, система поддержки принятия решения, сетцентрическое управление.

ANNOTATION

Katsman M.D. Methodological basis of the environmental safety management during the liquidation consequences of emergency situations in railway transport. – Qualification scientific work as a manuscript.

The thesis for the degree of doctor of technical sciences, specialty 21.06.01 – ecological safety. – National Aviation University, Kyiv, 2018.

The thesis presents overview of world experience and authors own theoretical and experimental researches, the actual scientific and practical problem of reducing the harmful effects on the environment and human life of negative factors of emergency situations during transportation of dangerous goods by railway. To manage such emergency situations improved decision making system it is proposed.

The thesis presents the results of research and modeling of the impact of the consequences of ecologically dangerous railway emergency situations on the environment and human activity, as well as processes of managing the actions of liquidation units on the basis of information technology of network center management.

Analytical and experimentally grounded mathematical models of propagation of pollutants in the atmosphere as a result of railway emergency situations with flammable goods are presented.

The system of railway transportation in the event of emergencies is formalized, depending on the effectiveness of responding to such situations, on the basis of which mathematical models are developed to determine the probability of the states and the level of environmental safety of this system.

It is proved that the effectiveness of the response to environmentally hazardous rail situations with dangerous goods increases with the use of the appropriate decision making system, for the creation of which the mathematical models for the development of such situations and operational algorithms of the head of the operational headquarters are proposed, as well as mathematical models for determining the effectiveness of the actions of the liquidation units and their compounds.

It is proved that the capabilities of the railway functional subsystem "The forces and means of responding to emergencies on the railway transport" can be greatly increased by managing them from situational centers based on the network-centric principle of managing complex hierarchical ergatic systems.

Key words: ecological danger, railway emergency situation, environment, decision making, information technology, decision support system, network center management.