

Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Михайловська Юлія Валеріївна

УДК 621.03.9

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

263 – цивільна безпека

26 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Ю.В. Михайловська

Науковий керівник

Новожилова Марина Володимирівна,
доктор фізико-математичних наук, професор

Харків – 2020

АНОТАЦІЯ

Михайловська Ю. В. Підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів шляхом оптимізації ресурсного забезпечення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – цивільна безпека – Національний університет цивільного захисту України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Харків, 2020.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливого науково-практичного завдання у галузі цивільного захисту – розробці організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів в інтересах підвищення ефективності реагування на такі надзвичайні ситуації з урахуванням невизначеності параметрів та стану зовнішнього середовища.

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи. Обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи та основні завдання дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У першому розділі СТАН НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ТА РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИЛ ТА ЗАСОБІВ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ проведений аналіз нормативної бази України з питань ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, у тому числі внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів. Визначені причини виникнення, особливості та характер динаміки надзвичайних ситуацій, що розглядаються, в світі та в Україні. Проаналізовані наявні методики розрахунку сил та засобів для локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій даного типу. Визначено важливість

розгляду проблеми ресурсного забезпечення процесу реагування на надзвичайні ситуації із застосуванням формальних підходів для вибору оптимального регламенту проведення оперативно-рятувальних операцій і підвищення ефективності управлінських рішень. Виконано аналітичний огляд сучасного стану проблеми організації та оптимізації ресурсного забезпечення робіт з реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.

У другому розділі РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ наведено подання територіальної системи цивільного захисту як логістичної системи. На основі формалізації процесу розподілу матеріальних ресурсів системи цивільного захисту при організації реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів у вигляді ієрархічної графової моделі обґрунтовано необхідність та визначено місце мобільних центрів допомоги в даній ієрархії, що закладає організаційну основу підвищенню ефективності безпосереднього керівництва оперативно-рятувальними роботами.

Здійснено розробку та аналіз узагальненої математичної моделі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту як логістичної системи. Розроблена математична модель є багатокритеріальною задачею умовної нелінійної оптимізації, що припускає декомпозицію на сукупність підзадач більш простої структури. В рамках даної моделі розглянуто задачу покриття потреби в ресурсах під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації такого типу, що є просторово-розподіленою. Задача, що розглядається, вирішується за рахунок розміщення на границі зони надзвичайної ситуації певної кількості тимчасових мобільних центрів допомоги визначеної потужності.

У третьому розділі РОЗРОБКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ

визначено оцінку рівня техногенної безпеки території потенційної надзвичайної ситуації техногенного характеру з урахуванням невизначеності місця, часу та рівня надзвичайної ситуації на основі аналізу наявних статистичних даних та узагальнення думок експертів з числа практичних фахівців у галузі цивільного захисту. Проведено аналіз якісної та кількісної шкал оцінювання, що пов'язують рівень техногенної безпеки та ризик реалізації різних видів небезпеки. Наведено розв'язання оптимізаційної задачі підвищення рівня техногенної безпеки території як необхідної складової процесу визначення оптимальних обсягів ресурсного забезпечення реагування на такі надзвичайні ситуації. Розглянуті особливості задачі, що впливають з аналізу практичної діяльності територіальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Представлена чисельна реалізація побудованої оптимізаційної задачі підвищення рівня техногенної безпеки території.

Проведено формалізацію складових ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру із застосуванням нечітко множинного підходу.

Розроблено управляючий алгоритм формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на основі сценарного підходу, що є складовою організаційно-технічного методу розв'язання оптимізаційної задачі ресурсного забезпечення етапів реагування на надзвичайні ситуації такого типу. В рамках сценарного підходу визначені можливі алгоритми дії територіальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій з ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та відповідні обсяги ресурсного забезпечення оперативно-рятувальних робіт. При цьому невизначеність в завданні вхідних параметрів сценарію опрацьовується із застосуванням нечітко-множинного підходу, і кожен сценарій є детермінованою реалізацією на основі оптимізаційної моделі ресурсного забезпечення.

Наведено опис процедури алгоритмічної реалізації детермінованої

складової організаційно-технічного методу ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Для цього розроблено алгоритм розв'язання задачі визначення параметрів оптимального розміщення множини мобільних центрів допомоги на дискретній множині припустимих значень, а також алгоритм розв'язання задачі визначення множини оптимальних шляхів транспортування ресурсів.

У четвертому розділі ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ розроблено пропозиції щодо інформаційного забезпечення реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації. Визначено залежність ефективності проведення рятувальних операцій від стану транспортної мережі зони ураження. Представлено укрупнені етапи реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування та ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на основі реалізації сценарного підходу до прогнозування обсягів необхідних матеріальних ресурсів.

Запропоновано структурну схему прогнозної моделі ресурсного забезпечення як сукупності абстрактних взаємопов'язаних елементів, які описують функції інформаційної системи, що проектується для підтримки організаційно-технічного методу, можливі варіанти її використання та ознаки інформації, що циркулює в системі.

Побудовано апаратно-програмний комплекс визначення множини сценаріїв розвитку потенційної надзвичайної ситуації, що уможливорює створення інформаційного середовища прийняття управлінського рішення щодо плану реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.

Наведено особливості чисельного моделювання та доведено достовірність організаційно-технічного методу послідовно за кроками його

реалізації. Визначені характеристики та параметри розподілу вхідних даних, наведені результати чисельних експериментів щодо побудови множини сценаріїв на прикладі надзвичайної ситуації, пов'язаних з вибухами на складах боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р. та у с. Новобогданівка Запорізької області 06 травня 2004 р. Достовірність розроблених математичних та імітаційних моделей та розробленого на цій основі організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування забезпечено використанням достовірних вихідних даних, що отримані за результатами теоретичних і експериментальних досліджень, обґрунтованим вибором основних допущень.

Практичне застосування організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів та введення у практику рятувальних робіт мобільних центрів допомоги дозволило на певних кроках реалізації методу знизити загальний час доставки вантажів – на 30,2 % та загальний час евакуації постраждалого населення – на 55 %.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше розроблено багатокритеріальну математичну модель ресурсного забезпечення реагування на просторово-розподілену надзвичайну ситуацію внаслідок вибухів боєприпасів на основі подання територіальної системи цивільного захисту як логістичної системи, що включає визначення сукупності трьох частинних критеріїв ефективності використання наявних ресурсів, таких як час, вартість доставки необхідних вантажів та рівень задоволення потреби населення зони ураження щодо предметів життєзабезпечення за умови обмеженості ресурсів.

Вперше розроблений організаційно-технічний метод розв'язання оптимізаційної задачі ресурсного забезпечення етапів реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на основі реалізації сценарного підходу до прогнозування ресурсного забезпечення, що включає декомпозицію основної оптимізаційної задачі дві підзадачі: на розміщення

мобільних центрів допомоги, як дискретної задачі розміщення геометричних об'єктів із змінними метричними характеристиками, та задачі доставки вантажів і евакуації постраждалих.

Вперше побудований апаратно-програмний комплекс визначення множини сценаріїв розвитку потенційної надзвичайної ситуації, що уможливорює створення інформаційного середовища прийняття ефективного управлінського рішення щодо плану реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати дисертаційної роботи є подальшим розвитком конструктивних засобів розв'язання задач підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в умовах невизначеності зовнішнього середовища за рахунок оптимального розподілу обмежених ресурсів, визначення маршрутів евакуації постраждалих і доставки вантажів та можуть бути використані при побудові планів з питань цивільного захисту території та організації їх розроблення.

Інструментальні засоби оптимального використання обмежених ресурсів, що розвиваються в роботі, дозволяють вирішувати різноманітні завдання управління діяльністю єдиної державної системи цивільного захисту в цілому та об'єднати суб'єкти забезпечення цивільного захисту та підпорядковані їм органи управління і сили.

Результати роботи можуть стати основою створення організаційно-розпорядчих документів щодо дій територіальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій в разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів та визначення кількісної оцінки ефективності ліквідації їх наслідків.

Розроблений в роботі організаційно-технічний метод формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації може стати основою для визначення обсягів матеріальних резервів територіальних громад, що в сучасних умовах децентралізації набуває особливого значення.

Основні результати дисертаційного дослідження були впроваджені в підрозділах Головного управління ДСНС України в Харківській області та в Департаменті цивільного захисту, мобілізаційної та оборонної роботи Донецької обласної державної адміністрації, а також в навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України.

Ключові слова: реагування, надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, ефективність ліквідації наслідків, оптимальний розподіл обмежених ресурсів, оптимізація маршрутів евакуації постраждалих і доставки вантажів.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії:

1. Чуб І. А., Гудак Р. В., Михайловська Ю. В. Оптимізація транспортних витрат при ліквідації просторово-розподіленої надзвичайної ситуації. Інформаційні технології в міському просторі: монографія / ред. М. В. Новожилова. Харків: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2019. Розділ 12. С. 253–273.

Здобувачу особисто належить теоретико-множинний опис логістичної системи, введення ієрархії взаємозалежних оптимізаційних задач розміщення та маршрутизації в структурі задачі оптимізації транспортних витрат.

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

2. Новожилова М. В., Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Формалізація

задачі ресурсного забезпечення ліквідації техногенної надзвичайної ситуації. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2017. № 25. С. 153–158. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить побудова та аналіз узагальненої детермінованої математичної моделі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту як логістичної системи.

3. Новожилова М. В., Чуб І. А., Гудак Р. В., Михайловська Ю. В. Розв'язання задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації надзвичайних ситуацій. Радіоелектроніка та інформатика. Харків, 2019. – 1(84). № 1. С. 64–70. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar).

Здобувачу особисто належить опис задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру як задачі логістики катастроф, обґрунтування алгоритму зведення задачі покриття до задачі розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками.

4. Новожилова М. В., Чуб О. І., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В., Мележик Р. С. Розробка ієрархічної стратегії підвищення рівня техногенної безпеки території. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2019. № 2(30). С. 164–175. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить розробка оптимізаційної математичної моделі та методу розв'язання задачі підвищення рівня техногенної безпеки регіону в межах програми розвитку територіальної системи цивільного захисту з урахуванням її ієрархічної структури.

5. Новожилова М. В., Михайловська Ю. В. Розробка організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2020. № 2(32). С. 56-71. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз

Index Copernicus, Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить розробка структури організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію:

6. Чуб І. А., Новожилова М. В., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В. Моделювання задачі розміщення ресурсів для ліквідації надзвичайної ситуації. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. Budapest, Hungary, 2019. VII(26). Issue 215. P. 32–35. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar).

Здобувачу особисто належить постановка задачі розміщення ресурсів для ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру як задачі розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками, введення алгоритму розв'язання задачі розміщення ресурсів.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Аналіз статистичних і динамічних моделей ресурсного забезпечення задачі мінімізації наслідків надзвичайної ситуації. Профілактика, попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій: збірник матеріалів наук.-практ.семінару, м. Харків, НУЦЗУ, 19 квітня 2017 р. Харків, 2017. С. 156–158. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить класифікація особливостей ресурсного забезпечення задачі мінімізації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру, опис характеристик та представлення їх як векторних величин з

множиною упорядкованих параметрів невизначеності.

8. Новожилова М. В., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В. Моделювання розподілу ресурсів при ліквідації надзвичайної ситуації. Інформаційні системи та технології ІСТ-2017: матеріали 6-ї Міжнар. наук.-практ. конф., м. Коблево, 11–16 вересня 2017 р. Харків, 2017. С. 70–71. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить проведення декомпозиції моделі визначення необхідних ресурсів щодо локалізації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру на три взаємопов'язані підзадачі, опис основних величин задач.

9. Чуб І. А., Михайловська Ю. В., Мележик Р. С. Прогнозування ресурсного забезпечення ліквідації техногенної надзвичайної ситуації. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 19 Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ: ІДУЦЗ, 10–11 жовтня 2017 р. Київ, 2017. С. 469–472. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить розробка принципів декомпозиції прогнозної моделі ресурсного забезпечення для ліквідації надзвичайних ситуацій на стратегічному рівні та рівні оперативного планування.

10. Михайловська Ю. В. Оптимізація ресурсів системи техногенної безпеки регіону у режимі техногенної надзвичайної ситуації. Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, м. Харків, НУЦЗУ, 01 березня 2018 р. Харків, 2018. С. 347. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить опис множини критеріїв ефективності функціонування територіальної системи техногенної безпеки, побудова узагальненої моделі оптимізації ресурсів системи цивільного захисту.

11. Чуб І. А., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В. Визначення структури сил ліквідації надзвичайної ситуації на основі розв'язання задачі про покриття. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, ЧПБ

ім. Героїв Чорнобиля, 18–19 травня 2018 р., м. Черкаси, 2018. С. 217–218. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить реалізація сценарного підходу для вирішення задачі стратегічного планування процесу розподілу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації, опис алгоритму дій територіальних служб з ліквідації надзвичайних ситуацій.

12. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Моделювання обсягів ресурсів щодо ліквідації надзвичайних ситуацій в умовах невизначеності: Інформаційні системи та технології ІСТ-2018: матеріали 7-ї Міжнар. наук.-практ. конф., м. Коблево, 10–15 вересня 2018 р. Харків, 2018. С. 267–269. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить структурна ідентифікація характеристик та локацій можливої надзвичайної ситуації техногенного характеру, опис підходу для формалізації якісних та кількісних характеристик інформації.

13. Новожилова М. В., Чуб О. І., Михайловська Ю. В. Моделювання параметрів логістичної інфраструктури території в умовах ліквідації надзвичайних ситуацій. Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: тези доп. ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, ЗНТУ, 03–05 жовтня 2018 р. Запоріжжя, 2018. С. 259–260. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить формалізація нечітких множин вхідних та вихідних змінних задачі оптимізації територіальної логістичної інфраструктури, побудова нечіткої бази знань щодо визначення рівня потреби у ресурсах.

14. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Розподіл ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації як задача про покриття. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 20 Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ: ІДУЦЗ, 9–10 жовтня 2018 р. Київ, 2018. С. 479–481. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить побудова оптимізаційної моделі планування процесів розподілу та зберігання необхідного обсягу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру на певній території.

15. Чуб І. А., Новожилова М. В., Михайловская Ю. В., Гудак Р. В. Структурная идентификация задачи ресурсного обеспечения ликвидации последствий чрезвычайной ситуации в условиях неопределенности. Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., г. Кишинев, Республика Молдова, АТИК, 12–16 ноября 2018 р. г. Кишинев, 2018. С. 394–397. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить класифікація типів ресурсного забезпечення, узагальнена постановка задачі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту.

16. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Ієрархічна стратегія підвищення рівня техногенної безпеки території району. Topical issues of the development of modern science: тези доповідей I Міжнар. наук.-практ. конф., м. Софія, 18–20 вересня 2019 р., м. Софія, Болгарія, 2019. С. 249–254. (Форма – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка просторово-розподіленої задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, обґрунтовано алгоритм зведення задачі покриття до задачі розміщення геометричних об'єктів з урахуванням стану транспортних мереж території.

17. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Підвищення рівня техногенної безпеки регіону в умовах обмеженого ресурсного забезпечення. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 21 Всеукр. наук.-практ. конф. (за міжнар. участю), м. Київ, ІДУЦЗ, 8 жовтня 2019 р. Київ, 2019. С. 304–305. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить постановка двокритеріальної задачі підвищення рівня техногенної безпеки регіону, опис особливостей задачі та

параметрична ідентифікація.

18. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками. Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням: матеріали круг. столу, м. Харків, НУЦЗУ, 24 жовтня 2019 р. Харків, 2019. С. 132–134. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить створення наближеного методу розв'язання оптимізаційної задачі розміщення прямокутних геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками.

19. Мележик Р. С., Михайловська Ю. В. Проектування системи підтримки прийняття рішень з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру. Інформаційні технології: Теорія і практика: тези доповідей III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. здобув. вищої освіти і молодих учених, м. Харків, ХНУМГ імені О. М. Бекетова 10–13 травня 2020 р. м. Харків, 2020. С. 72. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить характеристика етапів проектування системи підтримки прийняття рішень з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру, опис типів невизначеностей та їхнього впливу на процес проектування інформаційної системи.

SUMMARY

Mykhailovska Yu.V. Improving response efficiency on emergencies with ammunition explosions by resourcing optimization. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for Candidate of Science Degree in Specialty 263 – civil safety. – National University of Civil Defence of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The dissertation is intended to solve an important scientific and practical problem in the field of civil safety, namely to create an organizational and technical method of forming resources for response to emergencies with ammunition explosions in order to improve the emergency response efficiency taking into account environmental uncertainty.

The introduction presents a general description of the dissertation. The relevance of the dissertation topic is substantiated, the purpose of the work and the main tasks of the research are formulated, the connection of work with scientific programs is shown. Data on the applicant's personal contribution, approbation of work and publication are given.

In the first section of the STATE OF REGULATORY AND RESOURCING RESPONSE FORCES AND MEANS TO EMERGENCIES WITH AMMUNITION EXPLOSIONS the analysis of the Ukraine normative base on liquidation of emergency consequences, including emergencies with ammunition explosions, is carried out. The causes, features and nature of the dynamics of emergencies under consideration in the world and in Ukraine are identified. The available methods defining forces and means for emergency localization and liquidation are analyzed. The importance of considering the resourcing problem of the emergency response process using formal approaches to select the optimal regulations for operational and rescue operations and increase the effectiveness of management decisions is determined. An analytical review of the current state of organization and optimization solutions concerning the

resourcing response to emergencies with ammunition explosions has been presented.

In the second section DEVELOPING MODELS OF RESOURCING RESPONSE TO EMERGENCIES WITH AMMUNITION EXPLOSIONS the presentation of the territorial civil defence system as a logistics system is worked out. Formalization of the distribution process of material resources of the civil defence system within organization of emergency response to munitions explosions in the form of a hierarchical graph model allows determining the necessity and the place of mobile assistance centers in this hierarchy.

The construction and analysis of the generalized mathematical model of optimization of the civil defence territorial system resources as a logistic system is carried out. The proposed mathematical model is a multicriteria problem of conditional nonlinear optimization, which involves decomposition into a set of subproblem of simpler structure. Within the framework of this model, the problem of covering the need for resources during the elimination of the consequences of an emergency of this type, which is spatially distributed, is considered. The problem being considered is solved by placing a certain number of temporary mobile assistance centers of a definite capacity on the affected area.

In the third section DEVELOPMENT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL METHOD OF RESOURCING RESPONSE TO EMERGENCIES WITH AMMUNITION EXPLOSIONS we define assessment of technological safety of potential man-made emergency area with the uncertainty of place, time and level of emergency using analysis of available statistical data and generalization experts' opinions who are practical specialists in the field of civil defence. Performed is analysis of the qualitative and quantitative assessment scales that tie together the level of man-made safety and the risk of different types of hazards. Given is the solution of the optimization problem of increasing the level of technogenic safety of the territory as a necessary component of the process of determining the optimal resourcing response to such emergencies. Problem peculiarities arising from the analysis of practical activity of territorial subdivisions

of the State Emergency Service of Ukraine are considered. The numerical realization of the constructed optimization problem intended to increase the technogenic safety level of the territory is presented.

Formalization of resourcing components to man-made emergencies response using fuzzy multiple approach is carried out.

A control algorithm for resource formation to emergency response with munitions explosions based on the scenario approach, which is part of the organizational and technical method to solve the optimization problem of resourcing of emergency response stages of this type. Within the framework of the scenario approach, possible action algorithms to territorial subdivisions of the State Service of Ukraine for Emergencies on man-made emergency liquidation and corresponding volumes of resourcing rescue operations are determined. In this case, the uncertainty in the input parameters of the scenario is processed using a fuzzy-multiple approach, and each scenario is a deterministic implementation based on the resourcing optimization model.

An algorithmic procedure description of the deterministic component of the organizational and technical method of resourcing for emergency response with ammunition explosions is given. To do this, an algorithm for solving the problem of determining the optimal location parameters of the mobile help centers on a allowable discrete set, as well as an algorithm for solving the problem of determining the set of optimal ways of transporting resources have been worked out.

The fourth section PROPOSALS ON THE PRACTICAL IMPLEMENTATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL METHOD OF FORMING RESOURCING RESPONSE TO EMERGENCIES WITH AMMUNITION EXPLOSIONS contains suggestions regarding information support implementing organizational and technical method that forms resourcing for response to emergencies. The dependence of the efficiency of rescue operations on the state of the transport network of the affected area is determined. The enlarged stages of organizational and technical method of formation of resourcing

response and liquidation of emergency consequences on the basis of realization of the scenario approach to forecasting necessary material resources are presented.

The structural scheme of the forecast model of resourcing as a set of abstract interconnected elements describing functions of a system being projected as to support of organizational and technical method, possible variants for using the systems, features of the information circulating in the system.

A hardware-software complex for determining a set of scenarios for the development of a potential emergency situation has been built, which makes it possible to create an information environment for making a management decision on an emergency response plan due to ammunition explosions.

Peculiarities of numerical modeling are given and the organizational and technical method reliability is proved sequentially according to the steps of its implementation. The results of numerous experiments on the construction of many scenarios on the example of emergencies, which includes explosions at an ammunition depot in Balaklia, Kharkiv region, on March 23, 2017 and in the village of Novobohdanivka, Zaporizhia region, on May 6, 2004. The reliability of the developed mathematical and simulation models and created on this basis the organizational and technical method of forming the resourcing response is ensured by the use of reliable initial data obtained from theoretical and experimental studies, reasonable choice of basic assumptions.

The practical application of the organizational and technical method of formation of resourcing response to emergencies with ammunition explosions and the introduction of rescue operations of mobile assistance centers allowed at certain steps to reduce the total delivery time - by 30.2% and the total evacuation time of the affected population – by 55%.

Scientific novelty of the obtained results.

For the first time, a multi-criteria mathematical model of resource response to spatially distributed emergencies with ammunition explosions was created based on the presentation of the territorial civil defence system as a logistics system, including a set of three partial criteria for efficient use of available resources, such

as time, cost of delivery and satisfaction the needs of the population of the affected area for livelihoods, given the limited resources.

For the first time, worked out is the organizational and technical method for solving the optimization problem of resourcing response stages to emergency with munitions explosions based on the implementation of a scenario approach to resource forecasting, including decomposition of the main optimization problem into two subproblems: placement of mobile assistance centers as a discrete problem of placing geometric objects with variable metric characteristics, and the problem of delivery of goods and evacuation of victims.

For the first time, a hardware-software complex for determining a set of scenarios for the development of a potential emergency has been built, which enables the creation of an information environment for making an effective management decision on the response plan on emergencies with ammunition explosions.

The practical significance of the results.

The scientific results of the dissertation are further development of constructive means of solving problems of improving the response efficiency of emergency with explosions in arsenals, ammunition depots in conditions of environmental uncertainty due to optimal allocation of limited resources, determining routes for evacuation and delivery of goods and can be used in plans for civil defence of the territory and the organization of their development.

The tools for optimal use of limited resources, which are developed in the thesis, allow solving various tasks of management of the unified state system of civil defence as a whole and to unite the subjects of civil protection and subordinate governing bodies and forces.

The results of the work can be the basis for the creating organizational and administrative documents on the actions of territorial units of the SES in case of threat or emergency with explosions in arsenals, ammunition depots and quantify the effectiveness of liquidation of their consequences.

The organizational and technical method of resourcing for response to emergency situations constructed in work can become a basis for definition of values of material reserves of territorial communities that in modern conditions of decentralization acquires great significance.

The main results of the dissertation research were implemented in the departments of the Main Directorate of the SES of Ukraine in Kharkiv region and in the Department of Civil Defence, Mobilization and Defence of the Donetsk Regional State Administration, as well as in the educational process of the National University of Civil Defence of Ukraine.

Keywords: response, emergency with explosions in arsenals, ammunition depots, efficiency of liquidation of consequences, optimal distribution of limited resources, optimization, evacuation routes, delivery of cargoes.

LIST OF PUBLICATIONS OF DEGREE-SEEKER

Scientific papers in which the main scientific results of the dissertation are published:

Monograph:

1. Chub I. A., Gudak R. V., Mykhailovska Yu. V. Optyimizatsiia transportnykh vytrat pry likvidatsii prostorovo-rozpodilenoï nadzvychainoi sytuatsii [Optimization of transport costs in the elimination of spatially distributed emergencies] Information technologies in urban space: monograph / ed. M. V. Novozhylova. Kharkiv: O. M. Beketov NUUE, 2019. Chapter 12. P. 253–273 [in Ukraine].

The applicant personally owns a set-theoretical description of the logistics system, the introduction of a hierarchy ordered interdependent placement and routing optimization problems in the structure of the problem of transport costs optimization.

Articles in scientific professional editions of Ukraine included in the international science-computer bases:

2. Novozhylova M. V., Chub I. A., Mykhailovska Yu. V. (2017). Formalizaciya zadachi resursnogo zabezpechennya likvidaciyi tehnogennoyi nadzvichajnoyi situaciyi. [Formalization of the task of resource provision of liquidation of technogenic emergency situation]. Problemi nadzvichajnih situacij – Problems of emergencies. № 25. P. 153–158 [in Ukraine]. (The article in the international science-based database Index Copernicus, Ulrich's Periodicals).

The applicant personally owns the construction and analysis of a generalized deterministic mathematical model for optimizing the resources of the territorial system of man-made security as a logistics system.

3. Novozhylova M. V., Chub I. A., Gudak R. V., Mykhailovska Yu. V., (2019). Rozv'yazannya zadachi pokrittya potrebi v resursah pri likvidaciyi nadzvichajnih situacij yak zadachi rozmishennya ob'yektiv zi zminnimi metrichnimi harakteristikami [Solving the problem of covering the need for resources in the elimination of emergencies as a problem of placing objects with variable metric characteristics]. Radioelektronika i informatyka – Radio electronics and computer science, issue 1, P. 64–70 [in Ukraine]. (The article in the international science-based database Index Copernicus and Google Scholar).

The applicant personally has a description of the task of covering the need for resources in the aftermath of a man-made emergency as a disaster logistics task, substantiation of the algorithm for reducing the coverage problem to the problem of placing geometric objects with variable metric characteristics.

4. Novozhylova M. V., Chub O. I., Mykhailovska Yu. V., Gudak R. V., Melezhik R. S. (2019). Rozrobka iierarkhichnoi stratehii pidvyshchennia rivnia tekhnohennoi bezpeky terytorii [Working out hierarchic strategy of enhancement of the territory technological safety level]. Problemy nadzvychainykh sytuatsii – Emergencies problems, issue 2(30), P. 164–175 [in Ukraine]. (The article in the international science-based database Index Copernicus and Ulrich's Periodicals).

The applicant is personally responsible for developing an optimization mathematical model and method for solving the problem of increasing the level of man-made security in the region by drawing up a multi-stage program for the development of the territorial system of man-made safety, taking into account its hierarchical structure.

5. Novozhylova M. V., Mykhailovska Yu. V. (2020) [Developing organizational and technical method of resource supplying formation for emergency situations]. Problemy nadzvychnykh sytuatsii – Emergencies problems, issue 2(32), P. 56-71 [in Ukraine]. (The article in the international science-based database Index Copernicus and Ulrich's Periodicals).

The applicant is personally responsible for the structure of the organizational and technical method to form resourcing for response to emergencies.

Articles in the abroad scientific professional editions, included in the international science-computer bases:

6. Chub I. A., Novozhylova M. V., Mykhailovska Yu. V., Gudak R. V. (2019). Modeliuvannia zadachi rozmishchennia resursiv dlia likvidatsii nadzvychnoi sytuatsii [Modeling resource allocation problem for emergency response]. Science and Education A New Dimension. Natural and Technical Sciences, VII (26). Issue 215, P. 32–35 [in Ukraine]. (The article in the international science-based database Index Copernicus, Google Scholar).

The applicant personally has to set the problem of resource allocation to eliminate the emergency of man-made nature as a problem of placement of geometric objects with variable metric characteristics, the introduction of an algorithm for solving the problem of resource allocation.

Scientific works certifying the practical of the dissertation materials:

7. Chub I. A., Mykhailovska Yu. V. (2017). Analiz statistichnih i dinamichnih modelej resursnogo zabezpechennya zadachi minimizaciyi naslidkiv nadzvichajnoyi situaciyi [Analysis of statistical and dynamic models of resource provision of the problem of minimizing the consequences of an emergency situation]. Zbirnik materialiv nauk.-prakt.seminaru: «Profilaktika, poperedzhennya ta likvidaciya nadzvichajnih situacij» – Collection of materials of the scientific-practical seminar: «Prevention, prevention and elimination of emergencies», Kharkiv, NUCZU, April 19, 2017, P. 156–158 [in Ukraine]. (Form of participation – intramural).

The applicant personally has to classify the features of resource provision of the problem of minimizing the consequences of a man-made emergency, a description of the characteristics and their presentation as vector quantities with many ordered parameters of uncertainty.

8. Novozhylova M. V., Mykhailovska Yu. V., Gudak R. V. (2017). Modeliuvannia rozpodilu resursiv pry likvidatsii nadzvychainoi sytuatsii [Modeling the allocation of resources under emergence relief operations]. Materialy 6ht Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: «Informatsiini systemy ta tekhnolohii» – Materials of the 6th International Scientific Practical Conference: «Information systems and technologies», Kobleve, September 11–16, 2017, P 70–71 [in Ukraine]. (Form of participation – extramural).

The applicant personally has to decompose the model of determining the necessary resources to localize the effects of man-made emergencies on three interrelated submissions, a description of the main values of the tasks.

9. Chub I. A., Mykhailovska Yu. V., Melezhik R. S. (2017). Prognozuvannya resursnogo zabezpechennya likvidaciyi tehnogennoyi nadzvichajnoyi situaciyi [Forecasting of resource provision of liquidation of technogenic emergency situation]. Materiali 19 Vseukr. nauk.-prakt. konf. «Suchasnij stan civilnogo zahistu Ukrayini ta perspektivi rozvitku» – Materials 19

All-Ukrainian. scientific-practical conf. rescuers «The current state of civil defence of Ukraine and prospects for development», Kyiv, IDUTZ, October 10–11, 2017, P. 469–472 [in Ukraine]. (Form of participation – extramural).

The applicant is personally responsible for developing the principles of decomposition of the forecast model of resource provision for the elimination of man-made emergencies at the strategic level and the level of operational planning.

10. Mykhailovska Yu. V. (2018). Optimizaciya resursiv sistemi tehnogennoi bezpeki regionu u rezhimi tehnogennoi nadzvichajnoi situaciyi [Optimization of resources of the system of technogenic safety of the region in the mode of technogenic emergency situation]. Materiali mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodih uchenih «Problemi ta perspektivi zabezpechennya civilnogo zahistu» – Materials of the international. scientific-practical conf. young scientists «Problems and prospects of civil protection», Kharkiv, NUCZU, March 01, 2018. P. 347 [in Ukraine]. (Form of participation – intramural).

The applicant personally has a description of many criteria for the effectiveness of the territorial system of man-made safety, construction of a generalized model for optimizing the resources of the man-made safety system.

11. Chub I. A., Mykhailovska Yu. V., Gudak R. V. (2018). Vyznachennia struktury syl likvidatsii nadzvychainoi sytuatsii na osnovy rozviazannia zadachi pro pokryttia [Determining the structure of emergency response forces based on the covering problem]. Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: «Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii» – Materials of the International Scientific and Practical Conference: «Theory and practice of firefighting and emergency response», Cherkasy, CHIPB, May 18–19, 2018, P. 217–218 [in Ukraine]. (Form of participation – intramural).

The applicant personally has to implement a scenario approach to solve the problem of strategic planning of the process of allocation of resources to eliminate the emergency situation, a description of the algorithm of territorial emergency services.

12. Chub I. A., Mykhailovska Yu. V. (2018). Modelyuvannya obsyagiv resursiv shodo likvidatsiyi nadzvichajnih situacij v umovah nevznachenosti [Modeling of resources for the elimination of emergencies in conditions of uncertainty]. Materiali 7ht Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Informacijni sistemi ta tehnologiyi IST-2018» – materials 7ht International. scientific-practical conf. «Information systems and technologies IST-2018», Kobleve, September 10–15, 2018 P. 267–269 [in Ukraine]. (Form of participation – extramural).

The applicant personally owns the structural identification of the characteristics and locations of a possible man-made emergency, a description of the approach to formalize the qualitative and quantitative characteristics of the information.

13. Novozhylova M. V., Chub O. I., Mykhailovska Yu. V. (2018). Modelyuvannya parametriv logistichnoyi infrastrukturi teritoriyi v umovah likvidatsiyi nadzvichajnih situacij [Modeling of parameters of logistic infrastructure of the territory in the conditions of liquidation of emergency situations]. Tezi dop. IX Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Suchasni problemi i dosyagnennya v galuzi radiotekhniki, telekomunikacij ta informacijnih tehnologij» – Thesis add. IX International. scientific-practical conf. «Modern problems and achievements in the field of radio engineering, telecommunications and information technology», Zaporizhia, ZNTU, October 03–05, 2018, P. 259–260 [in Ukraine]. (Form of participation – extramural).

The applicant personally has to formalize the fuzzy sets of input and output variables for optimization problem concerning the territorial logistics infrastructure, using a fuzzy knowledge base to determine the level of resource needs.

14. Chub I. A., Mykhailovska Yu. V. (2018). Rozpodil resursnogo zabezpechennya likvidatsiyi nadzvichajnoyi situatsiyi yak zadacha pro pokrittya [Allocation of resource support for emergency response as a coverage task]. Materiali 20 Vseukr. nauk.-prakt. konf. «Suchasnij stan civilnogo zahistu Ukrayini ta perspektivi rozvitku» – Materials 20 All-Ukrainian scientific-practical conf.

rescuers «The current state of civil defence of Ukraine and prospects for development», Kyiv, IDUTZ, October 9–10 2018, P. 479–481 [in Ukraine]. (Form of participation – extramural).

The applicant personally owns the construction of an optimization model for planning the processes of distribution and storage of the required amount of resources to eliminate the emergency of man-made nature in a given area.

15. Chub I. A., Novozhylova M. V., Mykhailovska Yu. V., Gudak R. V. (2018). Strukturnaia ydentyfikatsiya zadachy resursnoho obespechenyia lykvydatsyy posledstvyi chrezvichainoi sytuatsyy v uslovyakh neopredelennosti [Structural identification of the task of resource provision to eliminate the consequences of an emergency situation in conditions of uncertainty]. Materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferentsii: «Matematycheskoe modelirovaniye, optymizatsiya y ynformatsyonnye tekhnolohyy» – Materials of the 6st International Scientific and Technical Conference: «Mathematical modeling, optimization and information technology», Chisinau, November 12–16, 2018, P. 394–397 [in Russian]. (Form of participation – extramural).

The applicant personally owns the classification of types of resource provision, generalized statement of the problem of optimization of resources of the territorial system of emergency services.

16. Chub I. A., Mykhailovska Yu. V. (2019). Iyerarhichna strategiia pidvishennya rivnya tehnogennoyi bezpeki teritoriyi rajonu [Hierarchical strategy to increase the level of man-made safety of the district]. Tezi dopovidej I Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Topical issues of the development of modern science» – Abstracts of reports I International. scientific-practical conf. «Topical issues of the development of modern science», Sofia, Bulgaria, September 18–20, 2019. P. 249–254 [in Russian]. (Form of participation – extramural).

The applicant personally has the formulation of the spatially distributed problem of covering the need for resources in the elimination of man-made emergencies, substantiated the algorithm of reducing the problem of coverage to

the problem of placing geometric objects taking into account the state of transport networks.

17. Chub I. A., Mykhailovska Yu. V. (2019). Pidvishennya rivnyia tehnogennoi bezpeki regionu v umovah obmezhenogo resursnogo zabezpechennya [Increasing the level of technogenic security of the region in conditions of limited resource provision]. Materiali 21 Vseukr. nauk.-prakt. konf. «Suchasnij stan civilnogo zahistu Ukrayini ta perspektivi rozvitku» – Materials 21 All-Ukrainian. scientific-practical conf. (with Mizhnar. Participation) «The current state of civil defence of Ukraine and prospects for development», Kyiv, IDUTZ, October 8, 2019, P. 304–305. [in Ukraine]. (Form of participation – intramural).

The applicant personally has to set a two-criteria problem of increasing the level of man-made safety in the region, a description of the features of the problem and parametric identification.

18. Chub I. A., Mykhailovska Yu. V. (2019). Rozmishennya geometrichnih ob'yektiv zi zminnimi metricnimi harakteristikami [Placement of geometric objects with variable metric characteristics]. Materiali krug. stolu «Ob'yednannya teorii ta praktiki – zaporuka pidvishennya gotovnosti operativno-ryatuvalnih pidrozdiliv do vikonannya dij za pryznachennyam» – Materials workshop «Combining theory and practice is the key to increasing the readiness of rescue units to perform actions as intended», Kharkiv, NUCZU, October 24, 2019, P. 132–134. [in Ukraine]. (Form of participation – intramural).

The applicant is personally responsible for creating an approximate method for solving the optimization problem of placing rectangular geometric objects with variable metric characteristics.

19. Melezhik R. S., Mykhailovska Yu. V. (2020). Proektuvannya sistemi pidtrimki priinyattya rishen z likvidaciyi naslidkiv nadzvichajnoyi situaciyi tehnogennoho harakteru [Designing a decision support system for emergency response to man-made emergencies]. Tezi dopovidej III Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. zdobuv. vishoyi osviti i molodih uchenih «Informacijni tehnologiyi: Teoriya i praktika» – abstracts of reports III All-Ukrainian scientific-practical

internet conference won. of higher education and young scientists «Information technology: Theory and practice», Kharkiv, O.M. Beketov NUUE, May 10–13, 2020, P. 72. [in Ukraine]. (Form of participation – extramural).

The applicant personally has a description of the stages of designing a decision support system to eliminate the consequences of a man-made emergency, a description of the types of uncertainties and their impact on the design process of the information system.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	33
ВСТУП.....	34
1 СТАН НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ТА РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИЛ ТА ЗАСОБІВ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ.....	
1.1 Аналіз нормативної бази України щодо реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів.....	44
1.1.1 Класифікація надзвичайних ситуацій техногенного характеру.....	44
1.1.2 Аналіз методик розрахунку сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів	48
1.1.3 Аналіз особливостей процесу організації та проведення евакуації населення з зони ураження	52
1.2 Надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в світі та в Україні	55
1.2.1 Узагальнені статистичні дані про надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів у країнах світу.....	55
1.2.2 Статистичні дані про надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на території України.....	57
1.3 Аналіз характеристик надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів	61
1.3.1 Особливості надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів.....	61
1.3.2 Аналіз причин виникнення та динаміки надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів	64

1.4 Аналіз детермінованих та ймовірнісних моделей ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації.....	66
Висновки до розділу 1.....	73
2 РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ.....	76
2.1 Формалізація параметрів ресурсного забезпечення процесу ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.....	76
2.1.1 Базова графова модель структури розподілу матеріальних ресурсів системи цивільного захисту	81
2.1.2 Графова модель структури розподілу матеріальних ресурсів системи цивільного захисту як основа створення мобільних центрів допомоги	84
2.2 Узагальнена постановка задачі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту	87
2.2.1 Побудова множини частинних критеріїв ефективності задачі ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.....	90
2.2.2 Побудова множини геометричних обмежень задачі ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.....	92
2.2.3 Визначення параметрів оптимального розміщення множини мобільних центрів допомоги – задача покриття.....	98
Висновки до розділу 2.....	102
3. РОЗРОБКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ.....	104

3.1 Алгоритм оцінки рівня техногенної безпеки території можливої надзвичайної ситуації техногенного характеру.....	104
3.2 Алгоритм розв’язання оптимізаційної задачі підвищення рівня техногенної безпеки території.....	109
3.3 Формалізація складових ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру із застосуванням нечіткомножинного підходу	113
3.4 Розробка управляючого алгоритму формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на основі сценарного підходу.....	117
3.5 Опис процедури алгоритмічної реалізації організаційно-технічного методу ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.....	121
Висновки до розділу 3.....	125

4 ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ	128
4.1 Розробка пропозицій щодо інформаційного забезпечення реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації	129
4.2 Побудова апаратно-програмного комплексу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації.....	138
4.3 Чисельне моделювання та перевірка достовірності організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.....	141
4.4 Оцінка ефективності реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів при реалізації організаційно-	

технічного методу формування ресурсного забезпечення.....	157
Висновки до розділу 4.....	160
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	162
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	166
ДОДАТОК А.....	182
ДОДАТОК Б.....	190

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСБ	– арсенали, склади боєприпасів;
ДСНС	– Державна служба України з надзвичайних ситуацій;
ЄС	– Європейський Союз;
КМУ	– Кабінет Міністрів України;
МЦД	– мобільний центр допомоги;
НЛ	– нечітка логіка;
НС	– надзвичайна ситуація;
ЗСУ	– Збройні Сили України;
НУЦЗУ	– Національний університет цивільного захисту України;
ОПР	– особа, що приймає рішення;
ОПН	– об'єкт підвищеної небезпеки;
ОРС ЦЗ	– оперативно-рятувальна служба цивільного захисту;
ПЛАС	– план локалізації і ліквідації наслідків аварій;
ППУ	– пересувні пункти управління;
СЦЗ	– система цивільного захисту;
ТЗ	– транспортний засіб;
ТНС	– надзвичайна ситуація техногенного характеру;
ТП	– територіальний підрозділ.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Надзвичайні ситуації техногенного характеру (ТНС) [1, 2] – це великі проблеми, що становлять виклики перед виконавчими органами влади та відповідними службами територіальних громад щодо ефективного захисту свого населення та інфраструктури, скорочення як людських, так і майнових втрат, готовності швидко відновитися. Провідну роль в процесі реалізації операцій з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру відіграють територіальні підрозділи Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) [3], здатні генерувати адекватну професійну реакцію на надзвичайну ситуацію техногенного характеру, час і місце настання та ступінь важкості якої заздалегідь невідомі. Під час ТНС територіальна громада зазнає серйозної небезпеки, повноцінне функціонування соціальної та інженерної інфраструктури порушується, тому чітка організація реагування на ТНС, що загалом відбувається в умовах жорсткої обмеженості матеріальних резервів [4] є однією з найважливіших характеристик рівня життєздатності окремої території та держави в цілому.

Особливе місце серед надзвичайних ситуацій техногенного характеру займають надзвичайні ситуації (НС) внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів (АСБ). Тільки за останні 15 років в світі та в Україні відбулось понад 50 випадків незапланованих вибухів на АСБ. Зовнішньому середовищу НС внаслідок вибухів на АСБ притаманні такі риси, як рівень забезпечення техногенної безпеки в Україні, що не відповідає статусу країни, що займає центральне географічне місце на європейському континенті, щільне розміщення об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН), у тому числі арсеналів, складів боєприпасів поряд з населеними пунктами, людський фактор, проведення масштабної довготривалої операції об'єднаних сил, наявність розвиненої трансконтинентальної мережі транспортування рідких та газоподібних вуглеводнів, деградація основних фондів промислових

підприємств та інженерної інфраструктури, в тому числі доріг, руйнування елементів інженерної та транспортної інфраструктури, критична обмеженість наявного ресурсного забезпечення сил ДСНС. Такий стан справ обумовлює необхідність оптимізації процесів розподілу та зберігання необхідного обсягу ресурсного забезпечення при побудові планів реагування на НС внаслідок вибухів на АСБ та створення на цій основі організаційно-розпорядчих документів щодо дій територіальних підрозділів ДСНС в разі загрози або виникнення НС.

Реагування на НС визначеного виду – це чіткі скоординовані дії суб'єктів забезпечення цивільного захисту, що здійснюються відповідно до планів реагування на НС і полягають в організації робіт з ліквідації наслідків НС, рятуванні населення і майна, локалізації зони НС, а також ліквідації або мінімізації її наслідків, що становлять загрозу життю або здоров'ю населення [2]. НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів вражають великі за площею території, на яких розміщено декілька населених пунктів, міст національного та регіонального підпорядкування. Тому чітке планування рятувальних робіт та робіт з ліквідації наслідків НС визначеного типу має значний соціальний ефект.

Отже, серед основних завдань ДСНС виділені такі [2]:

- прогнозування і оцінка соціально-економічних наслідків НС, визначення на цій основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;
- створення, раціональне збереження та використання резерву матеріальних та фінансових ресурсів, необхідних для запобігання та реагування на НС.

Розробка інструментальних засобів вирішення визначених завдань є загальною проблемою, тому в останні роки в англійськомовних наукових фахових виданнях з'явилась низка публікацій, де проблематика оптимізації ресурсного забезпечення за часом виконання та вартістю комплексу оперативно-рятувальних робіт створює окремий науковий напрям логістики

катастроф в предметній області з дослідження НС техногенного або природного характеру, причин виникнення, перебігу, реагування, ліквідації та мінімізації її наслідків.

Найбільш вагомими науковими результатами в даній галузі отримані в роботах вітчизняних та закордонних вчених: Попова В. М. [5], Чуба І. А. [6], Комяк В. М. [8], Новожилової М. В. [9], Кочіна І. В. [10], Khorsi M. [11], Gwo-Hshiang [12], Sheu J.-B. [13] та ін.

Характерною ознакою задачі створення моделей та методів оптимального розподілу ресурсів щодо виконання рятувальних операцій з ліквідації наслідків НС є невизначеність типів та обсягів необхідних критичних ресурсів та невизначеність, неповнота вхідної інформації про параметри НС та стан зовнішнього середовища.

При цьому просторова розподіленість зони НС викликає необхідність застосування певної множини мобільних центрів допомоги з метою скорочення часу доставки вантажів та надання першої екстреної допомоги.

Таким чином, розробка організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів в інтересах підвищення ефективності реагування на такі надзвичайні ситуації з урахуванням невизначеності параметрів та стану зовнішнього середовища ТНС є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України (м. Харків) відповідно до Загальнодержавної цільової соціальної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2012-2016 роки (Розпорядження КМУ від 27 квітня 2011 року № 368-р) у рамках науково-дослідної роботи «Оптимізація розподілу ресурсів при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації» (№ ДР 0118U001003), в якій здобувач була відповідальним виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів в інтересах підвищення ефективності реагування на такі надзвичайні ситуації.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були поставлені та вирішені наступні наукові завдання:

1. Проаналізувати нормативно-правове та ресурсне забезпечення сил та засобів реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.
2. Розробити структурну та оптимізаційні математичні моделі ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів.
3. Розробити організаційно-технічний метод формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів та обґрунтувати його адекватність.
4. Визначити пропозиції щодо практичної реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів.

Об'єкт дослідження – процес реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в умовах невизначеності зовнішнього середовища.

Предмет дослідження – моделі та методи завчасного визначення обсягів та параметрів ресурсного забезпечення етапів реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених наукових завдань в дисертаційному дослідженні використовувалися методи теорії систем для аналізу предметної області дослідження, методи побудови сценаріїв для оцінки різних сценаріїв розвитку можливої НС, методи розробки та розв'язання багатокритеріальних оптимізаційних задач для визначення множини частинних кількісних критеріїв ефективності реагування на

надзвичайні ситуації, методи математичного моделювання для формалізації задачі оптимального навантаження та маршрутизації як складової реакування на НС внаслідок вибухів боєприпасів в умовах можливих порушень транспортної інфраструктури.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу в галузі цивільного захисту – розроблено організаційно-технічний метод формування ресурсного забезпечення реакування на НС внаслідок вибухів боєприпасів в інтересах підвищення ефективності реакування на такі надзвичайні ситуації з урахуванням невизначеності параметрів та стану зовнішнього середовища ТНС за рахунок зменшення часу доставки засобів життєзабезпечення, евакуації постраждалих та скорочення обсягів необхідних матеріальних ресурсів територіальних підрозділів ДСНС за наявності множини мобільних центрів допомоги на основі побудови множини сценаріїв розвитку можливої надзвичайної ситуації.

При виконанні дисертації отримано нові наукові результати:

Вперше розроблено багатокритеріальну математичну модель ресурсного забезпечення реакування на просторово-розподілену надзвичайну ситуацію внаслідок вибухів боєприпасів на основі подання територіальної системи цивільного захисту як логістичної системи, що включає визначення сукупності трьох частинних критеріїв ефективності використання наявних ресурсів, таких як час, вартість доставки необхідних вантажів та рівень задоволення потреби населення зони ураження щодо предметів життєзабезпечення за умови обмеженості ресурсів.

Вперше розроблений організаційно-технічний метод розв'язання оптимізаційної задачі ресурсного забезпечення етапів реакування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на основі реалізації сценарного підходу до прогнозування ресурсного забезпечення, що включає декомпозицію основної оптимізаційної задачі дві підзадачі: на розміщення мобільних центрів допомоги, як дискретної задачі розміщення геометричних

об'єктів із змінними метричними характеристиками, та задачі доставки вантажів і евакуації постраждалих.

Вперше побудований апаратно-програмний комплекс визначення множини сценаріїв розвитку потенційної надзвичайної ситуації, що уможливорює створення інформаційного середовища прийняття ефективного управлінського рішення щодо плану реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати дисертаційної роботи є подальшим розвитком конструктивних засобів розв'язання задач підвищення ефективності реагування на НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в умовах невизначеності зовнішнього середовища за рахунок оптимального розподілу обмежених ресурсів, визначення маршрутів евакуації постраждалих і доставки вантажів та можуть бути використані при побудові планів з питань цивільного захисту території та організації їх розроблення.

Інструментальні засоби оптимального використання обмежених ресурсів, що розвиваються в роботі, дозволяють вирішувати різноманітні завдання управління діяльністю єдиної державної системи цивільного захисту в цілому та об'єднати суб'єкти забезпечення цивільного захисту та підпорядковані їм органи управління і сили.

Результати роботи можуть стати основою створення організаційно-розпорядчих документів щодо дій ТП ДСНС в разі загрози або виникнення НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів та визначення кількісної оцінки ефективності ліквідації їх наслідків.

Розроблена в дисертації багатокритеріальна математична модель та методи її реалізації можуть бути застосовані для розв'язання задачі мінімізації транспортних витрат при ліквідації наслідків просторово-розподілених надзвичайних ситуацій техногенного характеру з урахуванням наявності мобільних центрів допомоги.

Розроблений в роботі організаційно-технічний метод формування

ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації може стати основою для визначення обсягів матеріальних резервів територіальних громад, що в сучасних умовах децентралізації набуває особливого значення.

Основні результати дисертаційного дослідження були впроваджені в підрозділах Головного управління ДСНС України в Харківській області та в Департаменті цивільного захисту, мобілізаційної та оборонної роботи Донецької обласної державної адміністрації при оптимізації процесу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру і мінімізації її наслідків, а також в навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України (м. Харків).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційного дослідження отримані автором особисто і наведені в роботах [14–32]. В наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, особисто здобувачу належать: в роботі [14] – теоретико-множинний опис логістичної системи, введення ієрархії взаємозалежних оптимізаційних задач розміщення та маршрутизації в структурі задачі оптимізації транспортних витрат; в роботі [15] – розробка та аналіз узагальненої детермінованої математичної моделі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту, як логістичної системи; в роботі [16] – опис задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру як задачі логістики катастроф, обґрунтування алгоритму зведення задачі покриття до задачі розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками; в роботі [17] – розробка оптимізаційної математичної моделі та методу розв'язання задачі підвищення рівня техногенної безпеки регіону в межах програми розвитку територіальної системи цивільного захисту з урахуванням її ієрархічної структури; в роботі [18] – розробка структури організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації; в роботі [19] – постановка задачі розміщення ресурсів для ліквідації надзвичайної ситуації

техногенного характеру як задачі розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками, введення алгоритму розв'язання задачі розміщення ресурсів; в роботі [20] – класифікація особливостей ресурсного забезпечення задачі мінімізації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру, опис характеристик та представлення їх як векторних величин з множиною упорядкованих параметрів невизначеності; в роботі [21] – проведення декомпозиції моделі визначення необхідних ресурсів щодо локалізації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру на три взаємопов'язані підзадачі, опис основних величин задач; [22] – розробка принципів декомпозиції прогнозу моделі ресурсного забезпечення для ліквідації надзвичайних ситуацій на стратегічному рівні та рівні оперативного планування; в роботі [23] – опис множини критеріїв ефективності функціонування територіальної системи цивільного захисту, побудова узагальненої моделі оптимізації ресурсів системи цивільного захисту; в роботі [24] - реалізація сценарного підходу для вирішення задачі стратегічного планування процесу розподілу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації, опис алгоритму дій територіальних служб з ліквідації надзвичайних ситуацій; в роботі [25] – структурна ідентифікація характеристик та локацій можливої надзвичайної ситуації техногенного характеру, опис підходу для формалізації якісних та кількісних характеристик інформації; в роботі [26] – формалізація нечітких множин вхідних та вихідних змінних задач оптимізації територіальної логістичної інфраструктури, побудова нечіткої бази знань щодо визначення рівня потреби у ресурсах; в роботі [27] – побудова оптимізаційної моделі планування процесів розподілу та зберігання необхідного обсягу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру на певній території; в роботі [28] – класифікація типів ресурсного забезпечення, узагальнена постановка задачі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту; в роботі [29] – постановка просторово-розподіленої

задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, обґрунтування алгоритму зведення задачі покриття до задачі розміщення геометричних об'єктів з урахуванням стану транспортних мереж території; в роботі [30] – постановка двокритеріальної задачі підвищення рівня техногенної безпеки регіону, опис особливостей задачі; в роботі [31] – створення наближеного методу розв'язання оптимізаційної задачі розміщення прямокутних геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками; в роботі [32] – характеристика етапів проектування системи підтримки прийняття рішень з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру, опис типів невизначеностей та їхнього впливу на процес проектування інформаційної системи.

Апробація результатів дисертаційного дослідження. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: науково-практичному семінарі «Профілактика, попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій» (НУЦЗУ, м. Харків, 19 квітня 2017 р., форма участі – очна); 6-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології ІСТ–2017» (с. Коблево, 11–16 вересня 2017 р., форма участі – заочна); 19 Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (м. Київ, 10–11 жовтня 2017р., форма участі – заочна); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (м. Харків, 01 березня 2018 р., форма участі – очна); ІХ Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля, м. Черкаси, 18–19 травня 2018 р., форма участі – заочна); 7-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології. ІСТ-2018» (с. Коблево, 10-15 вересня 2018 р., форма участі – заочна); ІХ Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та

інформаційних технологій» (м. Запоріжжя, 03–05 жовтня 2018 р., форма участі – заочна); 20 Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (м. Київ, 9–10 жовтня 2018 р., форма участі – заочна); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии» (м. Кишинів, Республіка Молдова, 12-16 листопада 2018 р., форма участі – заочна); I Міжнародній науково-практичній конференції «Topical issues of the development of modern science» (м. Софія, Болгарія, 18–20 вересня 2019 р., форма участі – заочна), 21 Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (м. Київ, 8 жовтня 2019 р., форма участі – очна); Круглий стіл «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням» (НУЦЗУ, м. Харків, 24 жовтня 2019 р., форма участі – очна); III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології: теорія і практика» (м. Харків, 10–13 травня 2020 р., форма участі – заочна).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 19 наукових праць: 1 розділ у колективній науковій монографії, 1 стаття в закордонному науковому фаховому виданні, яке входить до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus, 4 статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз Google Scholar, Index Copernicus і Ulrich's Periodicals та 13 тез доповідей на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота загальним об'ємом 196 сторінки складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 136 найменувань і 2 додатків, містить 26 рисунків, 4 рисунки на окремому аркуші, та 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ТА РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИЛ ТА ЗАСОБІВ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ

В даному розділі проведено критичний огляд нормативних документів закордонних та вітчизняних літературних джерел за темою дисертаційного дослідження. Виконано аналіз нормативної бази України з питань ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на АСБ.

Проаналізовано статистичні дані про надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в світі та в Україні. Надано аналіз особливостей та характеристик надзвичайних ситуацій, внаслідок вибухів на АСБ в світі та в Україні.

Визначено причини виникнення та характер динаміки надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на АСБ в світі та в Україні.

Виконано аналітичний огляд сучасного стану проблеми організації та оптимізації ресурсного забезпечення робіт з реагування на надзвичайні ситуації, зокрема внаслідок вибухів боєприпасів.

Матеріали розділу викладено в роботах автора [15, 19, 20, 21, 22].

1.1 Аналіз нормативної бази України щодо реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів

1.1.1. Класифікація надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Визначення 1.1. Надзвичайна ситуація – обстановка на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою

небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завдання значних матеріальних збитків, а також до неможливості проживання населення на такій території чи об'єкті, провадження на ній господарської діяльності [2].

Регламентація загальних принципів класифікації НС, які виникають на території України, за їх рівнями впливу закріплена постановою Кабінету Міністрів України [1]. Залежно від обсягів масштабів заподіяних НС наслідків, технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для їх ліквідації, визначаються такі рівні надзвичайних ситуацій [1]:

- 1) державний;
- 2) регіональний;
- 3) місцевий;
- 4) об'єктовий.

Визначення рівня НС, яка сталася, здійснюється за наступними критеріями [1]:

- 1) територіальне поширення та обсяги технічних і матеріальних ресурсів, що необхідні для ліквідації наслідків НС;
- 2) кількість людей, які внаслідок дії вражаючих чинників джерела НС загинули або постраждали, або нормальні умови життєдіяльності яких порушено;
- 3) розмір збитків, завданих вражаючими чинниками джерела НС.

Наказом МВС України [34] визначаються класифікаційні ознаки НС, які об'єднані окремо для НС техногенного, природного та соціального характеру.

Визначення 1.2. Класифікаційна ознака НС – технічна чи інша характеристика події, що її визначають установленим порядком і яка дає змогу віднести подію до надзвичайної ситуації [35].

Кожна ознака містить опис ознаки (стислий опис ситуації, випадку, події, пригоди, аварії, явища), одиниці виміру показника ознаки та порогові

значення показника ознаки.

Основним нормативним документом, який регламентує процес класифікації НС, є Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010 [35]. Він містить перелік НС, визначених у відповідних нормативно-правових актах і згрупованих за ознаками належності до відповідних НС, які можуть виникнути на окремій території України чи об'єкті в різних галузях національного господарства країни. У Класифікаторі наведені впорядковані назви НС та їх відповідні коди.

За характером походження розрізняють такі види НС [2, 34]:

- техногенного характеру;
- природного характеру;
- соціальні;
- воєнні.

Як показано в аналітичних матеріалах [33], найбільш небезпечними та поширеними є надзвичайні ситуації техногенного характеру.

Визначення 1.3. Надзвичайна ситуація техногенного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті унаслідок транспортної аварії (катастрофи), пожежі, вибуху, аварії з викиданням (загрозою викидання) небезпечних хімічних, радіоактивних і біологічно небезпечних речовин, раптового руйнування споруд; аварії в електроенергетичних системах, системах життєзабезпечення, системах телекомунікацій, на очисних спорудах, у системах нафтогазового промислового комплексу, гідродинамічних аварій тощо [35].

До НС техногенного характеру (рис. 1.1) відносяться НС, пов'язані з пожежами та вибухами на арсеналах, складах боєприпасів або інших об'єктах військового призначення.



Рис. 1.1. Класифікація НС техногенного характеру.

Впорядкована назва таких НС та їх відповідний код наведений в таблиці 1.1. [35].

Таблиця 1.1

Впорядкована назва та код НС унаслідок пожежі, вибуху на арсеналі, складі боєприпасів або іншому об'єкті військової призначеності

Код	Назва
10260	НС унаслідок пожежі, вибуху на арсеналі, складі боєприпасів або іншому об'єкті військової призначеності

Національний класифікатор [35] застосовують для збирання

адміністративних даних та організації взаємодії органів центральної виконавчої влади, відомств, організацій, підприємств під час вирішення питань, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями, що сталися.

1.1.2 Аналіз методик розрахунку сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів.

Розрахунок сил та засобів для ліквідації наслідків НС, у тому числі внаслідок вибухів боєприпасів, проводиться згідно Рекомендацій [36].

Найбільш розповсюдженими наслідками вказаних НС є: руйнування вибухами будинків (споруд); порушення транспортних сполучень (завали та руйнування доріг і мостів); порушення інженерних мереж (енергетичних, водогінних тощо).

Досвід ліквідації НС останніх років показав, що розбирання завалу найбільш доцільно проводити ланками ручного розбирання й рятувальних механізованих груп. Орієнтовний склад ланки і групи наведено у [36, табл. 1, табл. 2].

Кількість особового складу для комплектування механізованих груп може бути визначене по наступній залежності:

$$N_{PM} = 0.15 \frac{W G_{P3}}{T} k_C k_{II} k_3,$$

де: N_{PM} – чисельність особового складу, необхідного для комплектування рятувальних механізованих груп; W – об'єм завалу зруйнованих будинків і споруд, m^3 ; G_{P3} – трудомісткість по розбиранню завалу, чол. год/ m^3 , приймається рівною 1.8 чол. год/ m^3 ; T – загальний час виконання рятувальних робіт, год.; k_3 – коефіцієнт, що враховує структури завалу, приймається [36, табл. 3.]; k_C – коефіцієнт, що враховує зниження продуктивності в темний час доби, приймається $k_C = 1.5$; k_{II} – коефіцієнт, що враховує погодні умови, приймається [36, табл. 4.].

Наведена залежність по визначенню особового складу для комплектування механізованих груп застосовна за умови, якщо невідома кількість людей, що перебувають у завалі. Тому коефіцієнт 0,15 припускає частку завалу, що розбирає, від його загального об'єму.

Кількість рятувальних механізованих груп визначається за формулою:

$$n_{PM} = 0.15 \frac{W}{P_{PM} T},$$

де: P_{PM} – продуктивність однієї рятувальної механізованої групи на розбиранні завалу, $P_{PM} = 15 \text{ м}^3/\text{год}$.

Чисельність особового складу рятувальної механізованої групи прийнята з урахуванням її роботи у дві зміни.

Загальна кількість n_{PP} рятувальних ланок ручного розбирання, при цьому складі:

$$n_{PP} = n k n_{PM},$$

де: n – кількість змін у добу при виконанні рятувальних робіт;
 k – коефіцієнт, що враховує співвідношення між механізованими групами й ланками ручного розбирання залежно від структури завалу, визначається згідно [36, табл. 5.].

Продуктивність при роботі особового складу в засобах індивідуального захисту зменшується в 2 рази.

Чисельність розвідників приймається за умови, що на 5 рятувальних механізованих груп формується одна розвідувальна ланка в складі 3 осіб.

Розрахунок сил і засобів аварійно-відновлювальних формувань при порушенні транспортних сполучень (завалах та руйнуваннях доріг та мостів).

Кількість інженерної техніки, що залучається для проведення рятувальних робіт, визначається з розрахунку, що кожна рятувальна механізована група укомплектовується бульдозером, екскаватором,

автокраном і компресором [36].

Розрахунок кількості бульдозерів для розчищення під'їзних колій визначається за формулою:

$$N_{PM} = 12 \frac{L_{III}}{T} k_Y,$$

де: L_{III} – довжина завалених шляхів, км; T – потрібний час виконання робіт, год; k_Y – коефіцієнт умов виконання завдання.

Інженерна техніка для оснащення аварійно-технічних команд визначається за умови укомплектування кожної команди бульдозером, екскаватором та автокраном [36].

Розрахунок N_{PIII} чисельності особового складу для ручного розчищення транспортних шляхів визначається формулою:

$$N_{PIII} = 30 \frac{L_{III} n}{T} k_C k_{II},$$

де: T – загальний час проведення робіт, год.; n – кількість змін роботи в добу.

Визначення сил на відновлення зруйнованих доріг визначається за формулою:

$$N_{ДОР} = 300 \frac{L_{ДОР} n}{T n_{OC}} k_C k_{II}$$

де: $N_{ДОР}$ – кількість дорожньо-відбудовних команд, $n_{OC} = 35$ осіб; $L_{ДОР}$ – довжина зруйнованих доріг, км; 300 – трудомісткість відновлення 1 км дороги, осіб/год.

Необхідна кількість сил для відновлення зруйнованих мостів визначається за формулою:

$$N_M = 12 \frac{N_{ПМ} L_M n}{T n_{OC}} k_C k_{II},$$

де: N_m – кількість команд для відновлення зруйнованих мостів;
 12 – трудомісткість відновлення одного погонного метра моста, осіб/год;
 $N_{ПМ}$ – кількість пошкоджених мостів; L_m – середня довжина зруйнованих мостів, м.

Розрахунок сил і засобів при ліквідації порушень на інженерних мережах.

Визначення сил для відновлення порушених магістральних ліній електропередач (ЛЕП) проводиться за формулою [36]:

$$N_{ЛЕП} = 375 \frac{L_{ЛЕП} n}{T n_{OC}} k_C k_{П},$$

де: $N_{ЛЕП}$ – кількість аварійно-технічних команд відновлення ЛЕП;
 n – кількість змін ($n=2$); 375 – трудомісткість відновлення 1 км зруйнованої ЛЕП, чол/год; L – довжина зруйнованих ЛЕП, км; n_{OC} – чисельність однієї аварійно-технічної команди, $n_{OC} = 25$ осіб.

Кількість сил для ліквідації порушень на енергетичних мережах (ЕМ) населених пунктів визначається за формулою [36]:

$$N_{ЕМ} = 375 \frac{N_{AB} n}{T n_{OC}} k_C k_{П},$$

де: $N_{ЕМ}$ – кількість аварійно-технічних команд відновлення ЕМ;
 N_{AB} – кількість порушень на ЕМ; n_{OC} – чисельність однієї аварійно-технічної команди, $n_{OC} = 5$ осіб.

Аналогічно визначається необхідна кількість аварійно-відновлювальних команд при ліквідації наслідків НС на водогінних, каналізаційних і теплових мережах.

Як свідчить аналіз, в рекомендаціях [36] не знайшла відображення така

особливість НС, що пов'язана з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів, як швидка зміна їх параметрів у часі, викликана, наприклад, повторюваними вибухами.

1.1.3 Аналіз особливостей процесу організації та проведення евакуації населення з зони ураження. Загальні питання з порядку організації та проведення евакуації населення у разі загрози виникнення або виникнення НС викладені у Кодексі цивільного захисту України [2] та постанові Кабінету Міністрів України [37], яка визначає механізм здійснення організованого вивезення (виведення) населення із зон можливого впливу НС і розміщення його поза зонами дії вражаючих факторів джерел НС у разі виникнення безпосередньої загрози життю та заподіяння шкоди здоров'ю населення, а також заходів з евакуації матеріальних і культурних цінностей, якщо виникає загроза їх пошкодження або знищення.

Обов'язковій евакуації підлягає населення у разі виникнення загрози НС з викидом радіоактивних і небезпечних хімічних речовин, катастрофічного затоплення місцевості та землетрусів, масових лісових і торф'яних пожеж, зсувів, інших геологічних та гідрогеологічних явищ і процесів, збройних конфліктів [37].

Рішення про проведення евакуації приймають, згідно [37]: на державному рівні – Кабінет Міністрів України; на регіональному рівні – обласні держадміністрації; на місцевому рівні – районні держадміністрації, відповідні органи місцевого самоврядування; на рівні конкретного суб'єкта господарювання – його керівник.

У невідкладних випадках, зокрема у разі безпосередньої загрози життю та здоров'ю населення, рішення про проведення екстреної евакуації населення приймає керівник робіт з ліквідації наслідків НС, а за його відсутності – керівник аварійно-рятувальної служби, який першим прибув у зону надзвичайної ситуації та має повноваження для прийняття таких рішень.

Проведення евакуації забезпечується шляхом [37]:

- створення на регіональному та місцевому рівні органів з евакуації, а також органів з евакуації на об'єктах господарювання;
- розроблення плану евакуації населення;
- визначення безпечних районів, придатних для розміщення евакуйованого населення та матеріальних і культурних цінностей;
- організації оповіщення керівників суб'єктів господарювання і населення про початок евакуації;
- організації управління евакуацією;
- життєзабезпечення евакуйованого населення в місцях його безпечного розміщення;
- навчання населення діям під час проведення евакуації.

Приймальні пункти евакуації організовують у безпечному районі підготовку пунктів висадки, уточнюють кількість населення, що прибуло, і порядок подачі транспортних засобів для його вивезення із зазначених та проміжних пунктів евакуації до пунктів розміщення, організовують надання медичної допомоги евакуйованому населенню та охорону громадського порядку [37].

Загальні вимоги щодо планування заходів з евакуації населення та матеріальних і культурних цінностей із зон НС установлює Методика планування заходів з евакуації [38] та Методичні рекомендації щодо розроблення планів з питань цивільного захисту [39].

У відповідності до цих нормативних документів, планування заходів з евакуації населення та матеріальних і культурних цінностей у разі загрози або виникнення НС покладається на центральні органи виконавчої влади, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування та суб'єкти господарювання.

Для планування евакуації в центральних органах виконавчої влади, місцевих державних адміністраціях, органах місцевого самоврядування та на суб'єктах господарювання утворюються комісії з питань евакуації.

Планування евакуації здійснюється на підставі рішення комісії з питань евакуації відповідного рівня [38].

План приймання та розміщення евакуйованого населення в безпечному районі розробляється комісією з питань евакуації місцевого органу виконавчої влади, органу місцевого самоврядування, на території якого планується розміщення евакуйованого населення та матеріальних і культурних цінностей.

Наказ МВС України [40] також визначає механізм залучення і використання повітряних суден авіаційних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Національної гвардії України, Державної прикордонної служби України та позаштатних спеціалізованих медичних бригад закладів охорони здоров'я МВС, інших медичних працівників для організації та проведення аеромедичної евакуації постраждалих, у тому числі важкохворих, поранених а також працівників та державних службовців цих органів і формувань, що постраждали під час виконання ними службових обов'язків [40].

Аеромедична евакуація – транспортування постраждалих до закладів охорони здоров'я авіаційним транспортом з наданням належної медичної допомоги на борту повітряного судна в разі необхідності [40].

До аеромедичної евакуації залучаються вертольоти та літаки в медичному та/або санітарному варіанті авіаційних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Національної гвардії України, Державної прикордонної служби України [40].

Загальні вимоги щодо організації, підготовки та забезпечення аеромедичної евакуації в країнах НАТО висвітлені в звіті [41]. В роботі розглядаються питання оперативної евакуації постраждалих при НС та використання для цього літальних апаратів, зокрема гелікоптерів. Наведено інформацію щодо планування рятувальних операцій, забезпечення матеріально-технічними та людськими ресурсами.

1.2 Надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в світі та в Україні

За даними статистичних досліджень [42], НС, пов'язані з вибухами боєприпасів, складають досить значну частку тяжких ТНС, які завжди супроводжуються травмуванням та загибеллю людей, руйнуванням об'єктів інфраструктури та багатомільйонними збитками. З 1993 року Сполучені Штати Америки (США) фінансують найбільшу в світі Програму знищення звичайних видів озброєння у всьому світі, включаючи розмінування і знищення вибухонебезпечних відходів війни майже в 50 країнах, а також знищення надлишкових і старіючих боєприпасів на військових складах різних країн. В цю програму було інвестовано понад 1,7 млрд. доларів [42], що свідчить про незадовільний стан і небезпечні умови зберігання боєприпасів у багатьох країнах світу.

1.2.1 Узагальнені статистичні дані про надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів у країнах світу. Незаплановані вибухи в місцях зберігання боєприпасів – глобальна проблема. Як свідчать матеріали журналу «NATO Review» [41], з 1998 року про подібні випадки повідомлялося практично в третини держав-членів ООН і на кожному континенті за винятком Австралії і Антарктиди.

Протягом цього періоду в 62 країнах світу було зафіксовано близько 250 подібних НС, внаслідок чого загинуло більш 4700 осіб та 5700 осіб отримали поранення. Особливо часто це відбувалося в Афганістані, Індії, Іраку і Російській Федерації: в кожній з цих країн було зареєстровано від 15 до 25 НС з вибухами у місцях зберігання боєприпасів [41]. Подібні вибухи сталися також в 11 з 28 держав-членів Організації Північноатлантичного договору (НАТО). В табл. 1.2 наведені основні дані про характеристики найбільш характерних НС з вибухами на АСБ у країнах світу.

Таблиця 1.2

Дані про вибухи на арсеналах, складах боєприпасів у країнах світу

№ з/п	Дата та місце НС	Об'єкт	Зона ураження	Евакуйовано	Постраждало, загинуло	Матеріальні збитки
1	2	3	4	5	6	7
1	27 січня 2002 р., Нігерія	Склад боєприпасів	Більш 15 км	20000	12000 осіб, 1100 осіб загинуло	Зруйновано два райони м. Лагос
2	13 липня 2003 р., Владивосток Росія	Склад боєприпасів ТФ	5-7 км	1800 осіб	27 чел.	Зруйновано 40 будівель
3	2 травня 2005 р., Афганістан	Склад боєприпасів	До 3 км	-	41 особа, 28 осіб загинуло	Зруйновано 25 будівель
4	23 березня 2006 р., Афганістан	Склад боєприпасів	До 3 км	-	60 осіб, 2 особи загинуло	1.2 млн. доларів
5	19 жовтня 2006 р., Сербія	Склад боєприпасів	До 5.5 км	-	20 осіб	300 тис. доларів
6	15 березня 2008 р., Албанія	Склад боєприпасів	2.5 км	4000 осіб	300 осіб, 26 осіб загинуло	2 млн. доларів
7	23 травня 2008 р., Ленінгр. обл., Росія	Склад ракетної зброї	15 км	7500 осіб	Жертв немає	770 млн. руб

Продовження Табл. 1.2.

1	2	3	4	5	6	7
9	10 липня 2008 р., Узбекистан	Склад ракетної зброї	До 30 км	-	21 особа, 3 особи загинуло	Зруйновано 20 будівель
10	8 червня 2009 р., Казахстан	Склад боєприпасів	300 м	120 осіб	1 особа загинула	2.3 млн. доларів
11	11 липня 2011 р., Кіпр	Склад боєприпасів	3 км	-	40 осіб, 16 осіб загинуло	Зруйновано електро- станцію

1.2.2 Статистичні дані про надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на території України. Згідно офіційних даних, з 2003 року по 2019 рік в Україні відбулося 16 НС, які пов'язані з пожежами, вибухами на арсеналах, складах боєприпасів [43].

На рис. 1.2 наведено розподіл кількості НС з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів в Україні за період з 2003 року по 2019 рік.

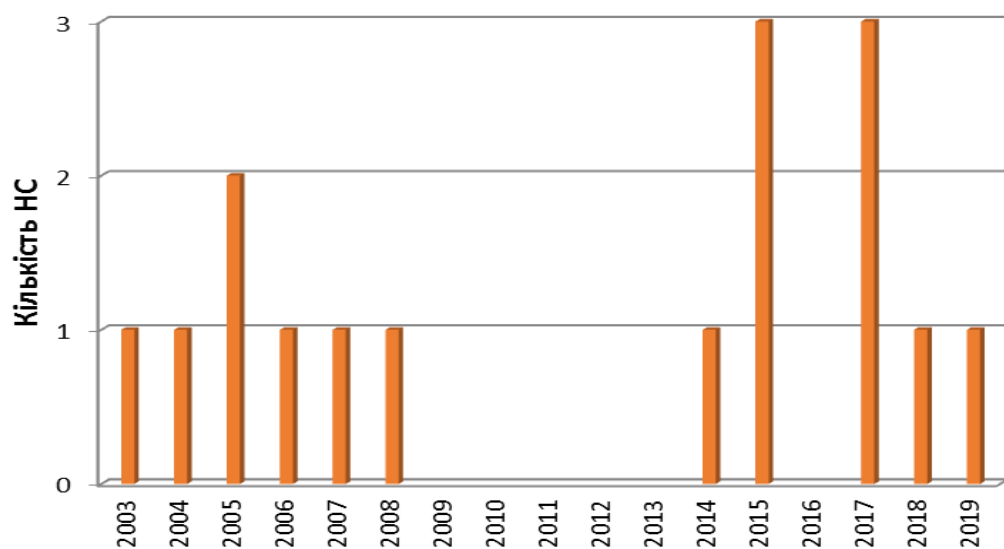


Рис. 1.2. Розподіл кількості НС з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів в Україні за період з 2003 року по 2019 рік

Розглянемо найбільш великі НС, з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів, які супроводжувалися тяжкими наслідками [43 – 52].

Шостого травня 2004 року в с. Новобогданівка Запорізької області на складі 275-ї бази зберігання артилерійських боєприпасів стався спалах, в результаті якого почали вибухати артснаряди й інші боєприпаси. Близько 90 тисяч тон боєприпасів, в тому числі реактивних для систем «Град», «Смерч» та «Ураган», вибухали протягом декількох днів, радіус розльоту сягав 40 км. Площа ураження становила 314 кв км, до якої потрапили 4 кілометри газопроводу Запоріжжя-Мелітополь. Повністю пожежу вдалося ліквідувати лише 19 травня 2004 року, тобто через два тижні. Причиною загоряння на складі було визначено грубе порушення військовослужбовцями правил пожежної безпеки. За офіційними даними, внаслідок НС: п'ятеро осіб загинуло, 85 осіб постраждали та були госпіталізовані. Із зони ураження було евакуйоване 6963 жителів з 15 сіл у 10-кілометровій зоні. Збитки від вибуху на базі зберігання артилерійських боєприпасів склали 3 млрд 752 млн. гривень [44].

Дев'ятнадцятого серпня 2006 року в с. Новобогданівка Запорізької області стався вибух, загорілося три гектари території складу. Радіус розльоту снарядів перевищував 20 км. На військову базу було направлено два пожежні танки та два спеціальних бронетранспортера, шість пожежних автомобілів і 140 фахівців з підрозділів ДСНС. Було призупинено рух пасажирських поїздів в Запорізькій області. Залізничний і автомобільний рухи були відновлені лише через тиждень. Пожежу ліквідували 21 серпня 2006 року. Були евакуйовані 1,5 тисячі мешканців, 4 тисячі осіб поміщені в укриття. Поранення отримали чотири людини. Загальний розмір шкоди склав понад 200 мільйонів доларів. [45].

Двадцять сьомого серпня 2008 року в м. Лозова Харківської області під час пожежі на арсеналі Збройних сил України (ЗСУ) на території військової частини А0829 здетонували боєприпаси. Загасити вогонь вдалося тільки

через три дні. Постраждав один військовий. Через вибухи були пошкоджені будівлі та споруди 16 підприємств, установ та організацій району. З території військового містечка були евакуйовані близько 7 тисяч осіб. Матеріальні збитки від вибухів були оцінені в 3 млрд. гривень [46]. Для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на території військової частини А0829 була прийнята Державна цільова екологічна програма [47].

Двадцять дев'ятого жовтня 2015 року у м. Сватове Луганської області загорілися склади з ракетним озброєнням. На них зберігалось близько 3,5 тисяч тон боєприпасів. Пожежу вдалося ліквідувати через добу. Внаслідок ТНС 4 особи загинуло, постраждало 16 осіб. Вибухами було пошкоджено 35 будинків, відключено газо- та електропостачання об'єктів міста в зоні можливого ураження. Евакуйоване близько 6 тисяч осіб, у тому числі пацієнти Сватовської районної лікарні, будинок престарілих та школа-інтернат. За наведеними даними під час ТНС у м. Сватове знищено боєприпасів на суму 134 млн. гривень. [48].

Двадцять третього березня 2017 року у м. Балаклія Харківської області на території військового складу виникла пожежа з подальшою детонацією боєприпасів, спостерігалися вибухи різної інтенсивності. Загинула 1 особа, травмовано 4 особи, евакуйоване більш 36 тисяч громадян. На місці події від ДСНС було задіяне 55 автоцистерн, 24 одиниці допоміжної техніки та 362 особи особового складу. Також працювали 25 автомобілів швидкої допомоги, понад 100 медичних працівників. Від Національної поліції – 40 автомобілів та понад 150 осіб особового складу. Збитки від ТНС склали більш 300 млн. гривень. [49].

Двадцять шостого вересня 2017 року у с. Калинівка Вінницької області на 48 арсеналі ЗСУ, де на площі близько 60 гектарів зберігалось понад 188 тисяч тон боєприпасів, виникла пожежа, яка призвела до вибухів реактивних снарядів системи «Град», а також артилерійських та танкових

снарядів калібру 125 мм. Травмовано 2 людини. Пошкоджено більш ніж 2000 будинків різного призначення, повністю зруйновано 16 будинків. З населених пунктів, розташованих неподалік від епіцентру вибухів, евакуйовані більше 30 тисяч осіб. Було закрито рух на залізничному перегоні Сосенка – Калинівка і змінено маршрут руху 14 потягів. До ліквідації наслідків НС всього залучено 691 особа та 149 одиниць техніки. Від ДСНС - 195 осіб особового складу і 49 одиниць техніки, у тому числі 1 літак АН-32П, від Національної поліції 270 осіб і 60 одиниць техніки, від Нацгвардії - 136 осіб і 20 одиниць техніки, від Міністерства оборони України - 30 осіб особового складу та 5 одиниць техніки, в тому числі 2 пожежних танки; від ПАТ "Укрзалізниця" - 3 пожежних потяги. Крім того, від Міністерства охорони здоров'я працювало 30 медиків і 10 автомобілів швидкої допомоги. Проведено очищення місцевості від вибухонебезпечних предметів в п'ятикілометровій зоні навколо арсеналу. Обстежено на наявність вибухонебезпечних предметів 22.8 тисяч га, виявлено та вилучено 2251 вибухонебезпечний предмет. Збитки від надзвичайної ситуації склали більш 800 млн. доларів [50].

В ніч із 8 на 9 жовтня 2018 року в с. Дружба Ічнянського району Чернігівської області на складах боєприпасів почалися вибухи. Причиною цього в Генштабі ЗСУ називають чотири підриви в двох різних місцях арсеналу. Наразі є дві версії того, що сталося: службова недбалість та диверсія. Перед пожежею на арсеналі зберігалось 69,5 тисяч тон боєприпасів, із яких використовувати повноцінно можна було 43 тисячі тон. В результаті 95% боєприпасів були знищені у пожежі. Зона дії надзвичайної ситуації складала 16 км. Було організовано евакуацію населення з зони можливого ураження. До евакуації залучено 35 автобусів. Евакуйовані близько 12 тисяч мешканців. До місця надзвичайної ситуації направлено 21 піротехнічний розрахунок ДСНС (39 одиниць техніки та 107 осіб особового складу). У прилеглих областях приведено у готовність 23 пожежні розрахунки (23 одиниці техніки та 109 осіб особового складу), 7 пожежних потягів ПАТ

«Укрзалізниця». Сформовано зведений загін, що включав 27 одиниць техніки та 115 осіб особового складу. Збитки оцінюються в 100 млн. гривень [51].

1.3 Аналіз характеристик надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів

1.3.1 Особливості надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів. Проаналізуємо особливості НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, які суттєво відрізняють їх від інших НС техногенного характеру.

1) Випадковий характер виникнення НС (у часі та у просторі).

Однією з важливих характеристик надзвичайних ситуацій техногенного характеру загалом, та внаслідок вибухів на АСБ зокрема, є випадковий характер виникнення НС (у часі та у просторі). Однак статистичні ряди даних щодо надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на АСБ є дуже короткими для опрацювання методами класичного регресійного аналізу та значною мірою подані в описовому, а не в кількісному вигляді.

2) Просторова розподіленість зони ураження, необхідність одночасного проведення заходів в кількох географічно віддалених локаціях.

Розмір зони ураження залежить від виду боєприпасів, що вибухнули, і може досягати під час вибуху артилерійських снарядів 10-20 км (19 серпня 2006 року, с. Новобогданівка Запорізької області). У разі НС з вибухами ракетного озброєння або реактивних снарядів систем «Град», «Смерч» та «Ураган» зона впливу дорівнювала радіусу польоту ракети і, як правило, перевищує 30-40 км. (6 травня 2004 року, с. Новобогданівка Запорізької області).

3) Ймовірнісний характер розвитку та параметрів НС.

Характер розвитку та параметрів НС не є детермінованим в силу залежності від множини факторів, наявність та сила яких заздалегідь не є визначеною.

4) Велика тривалість НС.

Велика кількість боєприпасів, що зберігається на малій території безпосередньо поряд та в неналежних умовах зберігання, із терміном використання, що давно спливає, призводить до виникнення ефекту, так званої, каскадної НС, коли вибух на одному з сховищ боєприпасів та подальша пожежа спричиняють вибух та розповсюдження полум'я на інші споруди арсеналу або складу.

5) Велика кількість постраждалих і загиблих та масштабна евакуація із зони можливого ураження.

Розмір зони ураження визначає межі території, яка потрапила під вплив небезпечних чинників НС. Це важливий показник для прогнозування і мінімізації її наслідків. Він пов'язаний з такими характеристиками НС як кількість постраждалих і загиблих та евакуації людей із зони можливого ураження.

Згідно зі списком, який було оприлюднено у Доповідній записці, підготовленій Бюро військово-політичних справ Державного департаменту США [53], за останні 16 років від кожного незапланованого вибуху на складах боєприпасів в середньому загинули 15 осіб та 20 осіб отримали поранення. Більш того, згодом число жертв серед цивільного населення може зрости, оскільки в результаті вибуху відбувається розкид боєприпасів, на яких можуть підірватися мешканці.

Кількість евакуйованих може досягати декількох десятків тисяч (23 березня 2017 року, м. Балаклея Харківської області число евакуйованих склало 36000 осіб).

б) Великі матеріальні збитки.

НС з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів завжди супроводжуються великими матеріальними збитками (26 вересня 2017 року, с. Калинівка Вінницької області, 800 млн. дол.). Усі збитки від наслідків НС, завданих здоров'ю людей та об'єктам національної економіки, відповідно до [54] поділяються на види, залежно від завданої фактичної шкоди: вони

включають вартість боєприпасів, що вибухнули, зруйновані та пошкоджені будинки і споруди різного призначення, об'єкти інженерної та транспортної інфраструктури, які постраждали у результаті НС, втрати від невироблення продукції внаслідок припинення виробництва, витрати на проведення медичних заходів та евакуацію постраждалого населення, гуманітарну допомогу тощо.

Докладний аналіз підходів до оцінки збитків як порівняльний аналіз міжнародної та української практик проведено в роботі [55].

На рис. 1.3 наведено розподіл величини збитків від НС у грошових одиницях (грн.) за офіційними даними.

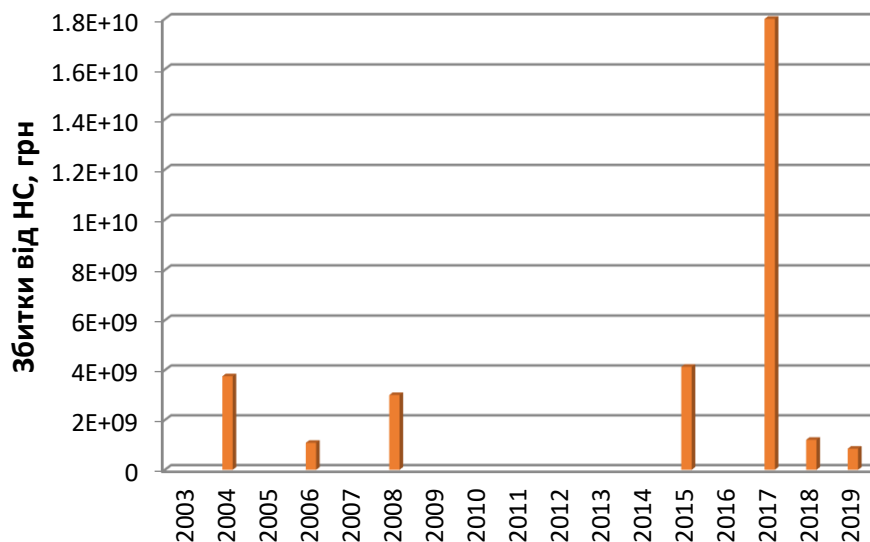


Рис. 1.3. Розподіл величини збитків від НС з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів України за період 2003 року по 2019 рік у грошових одиницях (грн.) за офіційними даними

Для деяких НС офіційні дані про кількість збитків у грошових одиницях відсутні, а вказане, наприклад, що «...пошкоджено 66 багатоквартирних і 120 приватних будинків, п'ять шкіл і три лікарні.» (м. Бахмут (Артемівськ) Донецької області, 10 жовтня 2003 року).

7) *Необхідність забезпечення взаємодії із владними структурами, підрозділами ЗСУ, медичними, волонтерськими та благодійними*

організаціями тощо при ліквідації наслідків НС.

8) *Регіональний (у деяких випадках – державний) рівень НС.*

Згідно з постановою КМУ до НС регіонального рівня відноситься надзвичайна ситуація [1]:

- яка поширилась на територію двох чи більше районів (міст обласного значення) Автономної Республіки Крим, областей, а для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують можливості цих районів, але не менш як 1% обсягу видатків відповідних місцевих бюджетів (надзвичайна ситуація регіонального рівня за територіальним поширенням);

- яка призвела до загибелі від 3 до 5 осіб або внаслідок якої постраждало від 50 до 100 осіб, чи було порушено нормальні умови життєдіяльності від 1 тис. до 10 тис. осіб на тривалий час (більш як на 3 доби), а збитки перевищили 5 тис. мінімальних розмірів заробітної плати;

- збитки від якої перевищили 15 тис. мінімальних розмірів заробітної плати.

Таким чином, як свідчать статистичні дані [43], за територіальним поширенням та обсягами технічних і матеріальних ресурсів, що необхідні для ліквідації наслідків НС, кількістю людей, які внаслідок дії вражаючих чинників джерела НС загинули або постраждали, або нормальні умови життєдіяльності яких порушено, та розмірами збитків, завданих вражаючими чинниками, надзвичайні ситуації, які пов'язані з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів в Україні, мають регіональний рівень.

1.3.2 Аналіз причин виникнення та динаміки надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів. Важливе значення для мінімізації наслідків НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в Україні, має виявлення комплексу причин, які призводять до їх виникнення.

Як свідчать результати аналізу причин виникнення 16 НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів України за період 2003–2019 рр.

[56], головною причиною виникнення НС є пожежа. В дев'яти випадках з десяти пожежа виникає внаслідок порушення правил техніки безпеки та пожежної безпеки при обслуговуванні арсеналів та складів боєприпасів, та при необережному поводженні з боєприпасами.

Аналіз статистичних даних дозволяє отримати наступну картину розподілу причин виникнення НС з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів України [43, 56]:

- 46% – пожежа, що викликана порушеннями правил пожежної безпеки, з подальшим вибухом;
- 41% – вибух внаслідок порушення правил техніки безпеки;
- 7% – пожежа, що викликана дією природного явища (удар блискавки), з подальшим вибухом;
- 6% – причина невідома (немає даних).

Зауваження 1.1. Слід відмітити, що за останні роки тяжкі НС з вибухами боєприпасів все частіше відбуваються у місцях: арсенали, склади та полігони з утилізації боєприпасів, для яких закінчився термін використання.

Кількість НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в світі за останні роки теж виявляє тенденцію до зростання. Як свідчать результати статистичних досліджень [56], за 15 років з 2000 року по 2015 рік в світі кількість таких НС зростає на 8% на рік. Це стосується також матеріальних збитків від них. А в Україні, наприклад, за дев'ять років з 2003 року по 2011 рік виникло 7 НС з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів (рис. 1.2) , а матеріальний збиток склав 7.7 млрд. гривень (рис. 1.3). За такий же період з 2011 року по 2019 рік відбулося 9 НС, які завдали матеріальні збитки у розмірі більш 24 млрд. гривень [53].

Отже, просторовий характер НС внаслідок вибухів боєприпасів, наявність великої кількості населення в зоні НС, динаміка розвитку НС, жорсткі обмеження матеріальних резервів – ці та інші фактори обумовлюють важливість розгляду проблеми ресурсного забезпечення процесу реагування

на НС із застосуванням формальних підходів: моделей та методів, що уможливають визначення оптимального регламенту проведення оперативно-рятувальних операцій і підвищення ефективності управлінських рішень.

1.4 Аналіз детермінованих та ймовірнісних моделей ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації

Проведений вище аналіз особливостей НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів показує, що загалом ліквідація НС такого типу та мінімізація її наслідків – це операція, що носить яскраво визначений соціальний ефект та потребує значної кількості різноманітних ресурсів, основним з яких є час ліквідації. Задача ускладнюється такими факторами, як просторова розподіленість НС, недосконалість транспортної інфраструктури постраждалої території, терміновість доставки певних вантажів невідкладної допомоги та обладнання щодо ліквідації наслідків НС, експлуатація якого може проводитися у несприятливих погодних умовах.

Планування таких широкомасштабних операцій з урахуванням забезпечення організації, координації, розподілу ресурсних (матеріальних, фінансових, інформаційних) потоків в процесі ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та мінімізації її наслідків має базуватися на строгому формальному фундаменті та використовувати арсенал сучасних засобів системного аналізу, теорії прийняття рішень, теорії оптимізації.

Цей напрям наукових досліджень досить активно розвивається світовою науковою спільнотою. На сьогодні створено певний науковий доробок із застосування детермінованих та стохастичних математичних моделей та методів їх реалізації в різних аспектах НС природного та техногенного характеру в рамках концепту логістики катастроф (emergency logistics) [56 – 81].

В дослідженні турецьких вчених запропоновано змішану імітаційну

модель визначення потреб щодо надання допомоги в зону надзвичайної ситуації із сусідніх районів до тих пір, поки урядові та / або центральні гуманітарні організації, наприклад Турецький Червоний Півмісяць – TRC) не зможуть дістатися до ураженої області. Розроблено двофазний план розподілу, так званих, засобів тимчасового реагування на аварії (TDR) та їх розповсюдження [57].

У публікації бразильських вчених розглядається задача підготовки до ліквідації наслідків масштабних надзвичайних ситуацій із стохастичними параметрами. Пропонується двоступенева модель стохастично строгого формального підходу і оптимізація щодо визначення місцеположення для попереднього розміщення поставок для ліквідації наслідків, виходячи з транспортних витрат та штрафних санкцій за незадоволений попит. Також представлений детальний аналіз, як призначити штрафні санкції за незадоволений попит. В роботі також проведено порівняльний аналіз стохастичних та детермінованих моделей розподілу ресурсів в умовах, коли наявні матеріали не можуть задовольнити всі потреби [58].

В свою чергу китайськими вченими розглянуто однокритеріальну оптимізаційну модель розподілу ресурсів в певній аварійно-рятувальній мережі, яка інтегрує розподільні центри, міста та ресурси для поповнення в багаторівневу систему для досягнення ефективності, орієнтованої на час. На основі взаємозв'язку між кількістю поставок та рівнем забезпеченості розроблено моделі ланцюгів постачань як моделі співпраці для такої багаторівневої мережі для забезпечення безперервного постачання та споживання. В роботі доведено, що кожен центр співпрацює з іншими сторонами, що зробило це однаковим ефектом із ресурсом поповнення [59].

Аварійне транспортування є найважливішою частиною операцій з ліквідації наслідків НС, проблема його планування завжди включає багато цілей, складні обмеження та невизначеність. У роботі [60] розроблена модель екстреної диспетчеризації ресурсів, в якій попит на ресурс є випадковим та транспортний канал може бути ненадійним. В моделі передбачається також

наявність надійного, але більш дорогого транспортного каналу. Налаштована основна модель з метою оптимізації очікуваних загальних витрат при ігноруванні обмеженості потужностей надійного каналу та швидкості заповнення попиту. При побудові моделі застосовано математичний апарат дискретних ланцюгів Маркова. Виведені аналітичні рішення для базової моделі та отримані управлінські рекомендації [60].

Модель розподілу гуманітарної допомоги з використанням концепції багатокритеріальної оптимізації як основи для проектування систем цивільного захисту побудовано у дослідженні [61]. Авторами розглянуто частинні критерії: загальної вартості системи розподілу та доставки вантажів в уражені зони, загальний час доставки (мають збігатися до мінімуму) та мінімальна задоволеність протягом заданого періоду планування (має збігатися до максимуму). Перші два критерії трактуються як критерії підвищення ефективності, тоді як третій працює на встановлення справедливості та формалізує обсяг зусиль для того, щоб забезпечити доставку товару із надання допомоги до всіх пунктів попиту [61].

Оптимізаційну модель доставки вантажів екстреної допомоги, в рамках якої побудовано такі цільові критерії як надійність доставки та її вартість за умови невизначеності часового інтервалу пропонується у дослідженні [62]. Оскільки ці критерії є неузгодженими, в роботі алгоритм розв'язання побудованої моделі на основі застосування концепції ідеальної точки, причому ідеальна точка між значеннями цих критеріїв вважається найкращим планом. Обмеження моделі враховують можливість відправки вантажів, необхідних для ліквідації надзвичайних ситуацій, з декількох місць зберігання (депо) у кілька зон ураження [62].

Багатоцільову нечітку оптимізаційну модель планування аварійних перевезень при формуванні ланцюгів поставок для ліквідації наслідків аварій на основі використання трьох режимів транспортування: повітряного, залізничного та автомобільного запропоновано в роботі [63]. Для опрацювання невизначеності параметрів надзвичайної ситуації автори

використовують три корельовані нечіткі рейтингові критерії та визначають відношення домінування для оцінювання рішення проблеми. Для ефективного вирішення проблеми розроблено кооперативний метод оптимізації, що розділяє інтегровану задачу на набір підзадач, розвиває процес розв'язання виділених підзадач одночасно і на цій основі генерує узагальнений розв'язок [63].

Також слід зазначити, що аварійні перевезення відіграють життєво важливу роль в успіху локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій та операцій з надання допомоги, але їх планування часто включають складні цілі та пошукові розподілені простори [64]. Визначається, що за останні роки в процесах планування аварійних перевезень у багатьох проблемах реального світу значною мірою використовуються біоінспіровані мета-евристичні методи, включаючи еволюційні алгоритми [65, 66] та алгоритми на основі мурашиної розвідки, що пояснюється складністю системи цілей та пошукових просторів. В роботі пропонується новий алгоритм оптимізації на основі гібридної біогеографії, який перевершує деякі сучасні евристики щодо типової проблеми планування транспортних перевезень в умовах надзвичайної ситуації, при цьому питання оптимізації ресурсного забезпечення залишаються невирішеними [67].

Вирішення просторово розподіленої моделі масового обслуговування постраждалих можна розглянути у публікаціях бразильських вчених [68, 69], де запропонована система невідкладної медичної допомоги на автошляхах, яка працює в рамках конкретної диспетчерської політики. Цю систему конфігуровано як систему надзвичайних ситуацій типу сервер-замовник. В якості моделі такої системи розглянуто відому модель гіперкубу, що є моделлю просторово розподіленої черги, заснованої на наближеннях марківського аналізу. Навчання враховує, що: екстрені виклики бувають різного типу; сервери відрізняються (наприклад, рятувальні машини швидкої допомоги, медичні транспортні засоби); лише певні сервери в системі можуть обслуговувати дзвінки в заданому регіоні (часткове резервне копіювання); і,

залежно від типу виклику один або більше однакових або відмінних серверів негайно відправляються для обслуговування таких дзвінків (багаторазова розсилка). Проаналізовано обчислювальні результати дослідження системи невідкладної медичної допомоги, що працює на бразильських шосе [69].

Концептуальний опис багатоцільової динамічної стохастичної моделі для складної логістичної проблеми в операціях з ліквідації наслідків територіально розподіленої надзвичайної ситуації представлено в роботі [11]. Кількість та місце розташування локальних розподільних центрів, а також рівень їх запасів для кожного типу аварійного постачання вважаються заздалегідь відомими. Частинні критерії ефективності включають суму очікуваної величини загальної вартості ланцюга допомоги, що має збігатися до мінімуму, а також рівень задоволеності постраждалих районів за рахунок мінімізації суми максимальної нестачі необхідних вантажів в уражених районах (спрямовується до максимуму).

Загальноприйнятним підходом у плануванні рятувальних операцій просторово-розподілених надзвичайних ситуацій вважається підхід, заснований на імітаційному моделюванні [70 – 73]. Крім того, імітаційне моделювання застосовується також для визначення як для розподілу ресурсів та операцій масового знезараження [74] так і для моделювання перебігу операцій з розподілу допоміжних засобів проведення рятувальних робіт [75].

В наукових публікаціях розглядаються також питання оптимізації сил порятунку. Ця проблема притаманна не тільки етапу стратегічного планування [76 – 81], отже, задача розподілу продуктів життєзабезпечення має розглядатися і на етапі ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

Всі ці питання належать предметній області наукової дисципліни – логістика катастроф (emergency logistics) – яка наразі швидко розвивається зарубіжними та вітчизняними вченими. Наведемо опис основних напрямів досліджень.

Напевно, першою помітною науковою роботою в даному напрямі була робота, в якій було класифіковано виклики логістики управління

надзвичайними ситуаціями у чотирьох різних сферах [12, 13]. До них належать: 1) визначення аварійної логістики, на відміну від ділової логістики (бізнес-логістики), яка забезпечує ефективний потік товарів і послуг від виробника / продавця до споживача, логістика управління надзвичайними ситуаціями передбачає ефективний потік служб надання допомоги та інформації від точки походження (тобто центрів розподілу допомоги) до пункту призначення в уражених зонах; 2) неможливість контролювати своєчасність розподілу допомоги; 3) проблеми, пов'язані із забезпеченням управління ресурсами для аварійної логістики, тут зазначаються операційні невизначеності (тобто контроль запасів готових до транспортування) та проблеми зв'язку, що виявлені при надзвичайних ситуаціях; 4) попит на майже недоступні, але важливі дані в режимі реального часу, інформація, яка надається на місцях рятувальниками та репортерами, може бути не такою точною, як це необхідно, через обмеженість доступності інформації безпосередньо після катастрофи та децентралізований розподіл цієї інформації [12].

Також розглянуто основні характеристики та завдання такого напрямку наукової та практичної діяльності як логістика катастроф (надзвичайних ситуацій). Введено поняття «зворотна логістика аварійних ситуацій» («Reverse emergency logistics»), що включає опрацювання отриманих зворотними потоками непотрібних матеріалів із зон ураження. Визначено, що при побудові регламенту оперативно-рятувальних дій необхідно приділяти особливу увагу таким викликам, як важкість забезпечення контролю своєчасності надання та розподілу допомоги в надзвичайних ситуаціях, складність керування координації логістичних ресурсів державного та приватного секторів, щоб уникнути довільного розподілу ресурсів під час катастроф, недоступність точної інформації про вимоги щодо надання допомоги у режимі реального часу [13].

Доцільність використання сучасної парадигми логістики надзвичайних ситуацій та її підходів до оптимізації ресурсного забезпечення діяльності

Державної служби медицини катастроф доведено в дослідженні [10]. На основі визначення основних матеріальних та інформаційних потоків діяльності служби (сил, засобів, медичного транспорту, постраждалих, медичного і немедичного персоналу служби) в повсякденних умовах та при ліквідації медико-санітарних втрат у надзвичайних ситуаціях визначено роль логістики інформаційних потоків у службі. Сформульовано основні завдання логістики та переваги її використання. Логістичний підхід до організації й надання екстреної медичної допомоги в зоні надзвичайних ситуацій трансформується в складну схему взаємодії та взаємодоповнення діяльності різноманітних служб, інтегрований результат функціонування яких дає змогу оптимально організувати і надати даний вид допомоги постраждалим [10].

Механізм оцінки уражених ділянок для визначення відповідних пріоритетів розповсюдження надзвичайної ситуації на основі концепції доцільності, за якою уражені ділянки класифікуються відповідно до оцінюваних рівнів запропоновано в статті [82]. Проаналізовано механізм підтримки логістики надзвичайних ситуацій, розроблено математичну модель формулювання розподілу засобів аварійної логістики, до яких відносяться: персонал, апаратне та програмне забезпечення, фінансові та матеріальні ресурси [82].

Визначення 1.4. Логістика катастроф – emergency logistics – це інструмент планування організації, координації, розподілу ресурсних (матеріальних, фінансових, інформаційних) потоків в процесі ліквідації ТНС та мінімізації її наслідків [13].

Відзначимо, що в цій доволі молодій науковій дисципліні термінологія ще зазнає певного упорядкування, йде кропітка робота, концепти уточнюються, визначення знаходять нову форму.

Так, на сьогодні вважається, що операції з ресурсного забезпечення процесів ліквідації НС природного та техногенного характеру належать такій галузі науки як гуманітарна логістика.

Визначення 1.5. Гуманітарна логістика – це процес планування,

впровадження та контролю над ефективними, економічно вигідними процедурами транспортування і зберігання товарів і матеріалів, а також пов'язаної з ними інформації, від точки походження до точки споживання з метою задоволення вимоги кінцевого бенефіціара та полегшення страждань людей в зоні ураження. Цей процес охоплює низку заходів, включаючи підготовку, планування, закупівлю, транспортування, зберігання, історію та митний контроль [83].

Логістика є найважливішим елементом процесу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій і катастроф, і найдорожчою його частиною, оскільки вона складає близько 80% від загальних витрат на допомогу при НС техногенного та природнього характеру [84].

Предметну галузь гуманітарної логістики характеризують такі невід'ємні властивості: непередбачуваний попит щодо термінів постачання, географічного положення кінцевих споживачів, видів товарів, необхідної кількості товарів; короткий час проведення та раптовість попиту на велику кількість найрізноманітнішу продукцію та послуги; відсутність початкових ресурсів з точки зору постачання, людських ресурсів, технологій, потужностей та фінансування; відсутність достатньої транспортної інфраструктури, складні погодні умови [86].

При цьому основна відмінність між бізнес-логістикою або військовою логістикою та гуманітарною логістикою базується на кінцевій меті останньої та полягає в полегшенні стану людей в зоні ураження [85, 86].

Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз нормативної бази України з питань ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, у тому числі внаслідок вибухів на арсеналах, складах боеприпасів. Проаналізовані наявні методики розрахунку сил та засобів для локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій даного типу. Як свідчить аналіз, дані методики не враховують умов, що призводять

до надзвичайної ситуації, умов перебігу та ймовірного характеру розвитку надзвичайної ситуації, номенклатури та масштабу сил та засобів ресурсного забезпечення.

2. Узагальнено та упорядковано статистичні дані про надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в світі та в Україні. Проведено аналіз особливостей та характеристик надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в світі та в Україні. Показано, що як в і цілому в світі, так, нажаль, і в Україні, за останні роки надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів все частіше відбуваються у місцях з утилізації боєприпасів, для яких закінчився термін використання, що значним чином впливає на рівень важкості наслідків надзвичайних ситуацій.

3. Визначено причини виникнення, особливості та характер динаміки надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів в світі та в Україні. Показано, що за територіальним поширенням та обсягами технічних і матеріальних ресурсів з реагування на надзвичайні ситуації, кількістю загиблих або постраждалих та розмірами збитків надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів мають регіональний рівень. Визначено важливість розгляду проблеми ресурсного забезпечення процесу реагування на надзвичайні ситуації із застосуванням формальних підходів для вибору оптимального регламенту проведення оперативно-рятувальних операцій і підвищення ефективності управлінських рішень.

4. Виконано аналітичний огляд сучасного стану проблеми організації та оптимізації ресурсного забезпечення робіт з реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Визначено, що наявні прогнозні моделі ресурсного забезпечення задач з реагування на надзвичайні ситуації

внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, не в повній мірі враховують такі фактори, як просторова розподіленість надзвичайних ситуацій, недосконалість транспортної інфраструктури постраждалої території, терміновість доставки певних вантажів невідкладної допомоги та обладнання щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, експлуатація якого може проводитися у несприятливих погодних умовах.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ

Наведено подання територіальної системи цивільного захисту (ТСЦЗ) як логістичної системи, визначені характеристики ресурсного забезпечення процесу реагування на надзвичайну ситуацію внаслідок вибухів боєприпасів та мінімізації її наслідків.

Розглянуто базову трирівневу графову модель логістичної структури ТСЦЗ та її модифікацію як основи створення мобільних центрів допомоги.

Здійснено побудову та аналіз математичних моделей оптимізації ресурсів ТСЦЗ як логістичної системи. Моделі, що розглядаються, є багатокритеріальними задачами умовної нелінійної оптимізації та припускають декомпозицію на сукупність підзадач більш простої структури.

Розглянуто задачу покриття потреби в ресурсах при реагуванні на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, що є просторово-розподіленою. Дана задача вирішується за рахунок розміщення на границі зони надзвичайної ситуації певної кількості тимчасових мобільних центрів допомоги визначеної потужності.

Основні результати розділу викладені в публікаціях [15, 16, 19, 24, 27, 28, 32].

2.1 Формалізація параметрів ресурсного забезпечення процесу ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру

Кінцевою метою реагування на НС, як зазначено у [2], є полегшення стану людей в зоні ураження, що перш за все передбачає мінімізацію часу доставки вантажів із продуктами життєзабезпечення та часу евакуації

постраждалого населення. Планування та організація цих процедур належить зоні відповідальності наукової дисципліни логістики катастроф [86].

Надамо необхідні визначення суб'єктів цивільного захисту з позицій логістики катастроф.

Визначення 2.1. Система цивільного захисту (СЦЗ) як логістична система (логістичний ланцюг) – це взаємодія множини відповідальних державних установ та організацій з можливим залученням недержавних благодійних організацій в рамках дій з реагування на НС в найкоротший термін з використанням мінімуму ресурсів.

Концепт логістики катастроф дозволяє розглянути регіональну систему цивільного захисту як логістичну систему особливого типу, що в режимі надзвичайної ситуації вирішує задачі ліквідації ТНС та мінімізації її наслідків в найкоротший термін з використанням мінімуму ресурсів.

Визначення 2.2. Ресурсне забезпечення СЦЗ – це структурована множина необхідних і доступних ресурсів щодо виконання завдань повсякденного режиму служби та режиму надзвичайної ситуації, а також система прийняття рішень щодо оптимізації структури ресурсного забезпечення в умовах динамічних змін та викликів зовнішнього середовища.

Слід зазначити, що ресурсне забезпечення певного суб'єкта діяльності характеризується структурою розробки та виконання ресурсних стратегій, оптимальним співвідношенням ресурсів для досягнення визначених цілей розвитку.

Надалі терміни ресурсне забезпечення та ресурси будемо вважати еквівалентними.

Визначення 2.3. Управління надзвичайною ситуацією (Disaster Operations Management) – сукупність дій (операцій), що виконуються до, під час та після надзвичайної ситуації з метою мінімізації її небажаних наслідків.

Більш детально фази життєвого циклу НС та місце ресурсного забезпечення процесу реагування [2, 3] на НС подані на рис. 2.1. В управлінні НС ресурсне забезпечення як етап управління впливає на зменшення

негативних факторів та наслідків НС, а саме скорочення кількості постраждалих та загиблих, зменшення обсягів прямих та побічних збитків, скорочення часу ліквідації наслідків НС, що в цілому підвищує ефективність реагування на НС.

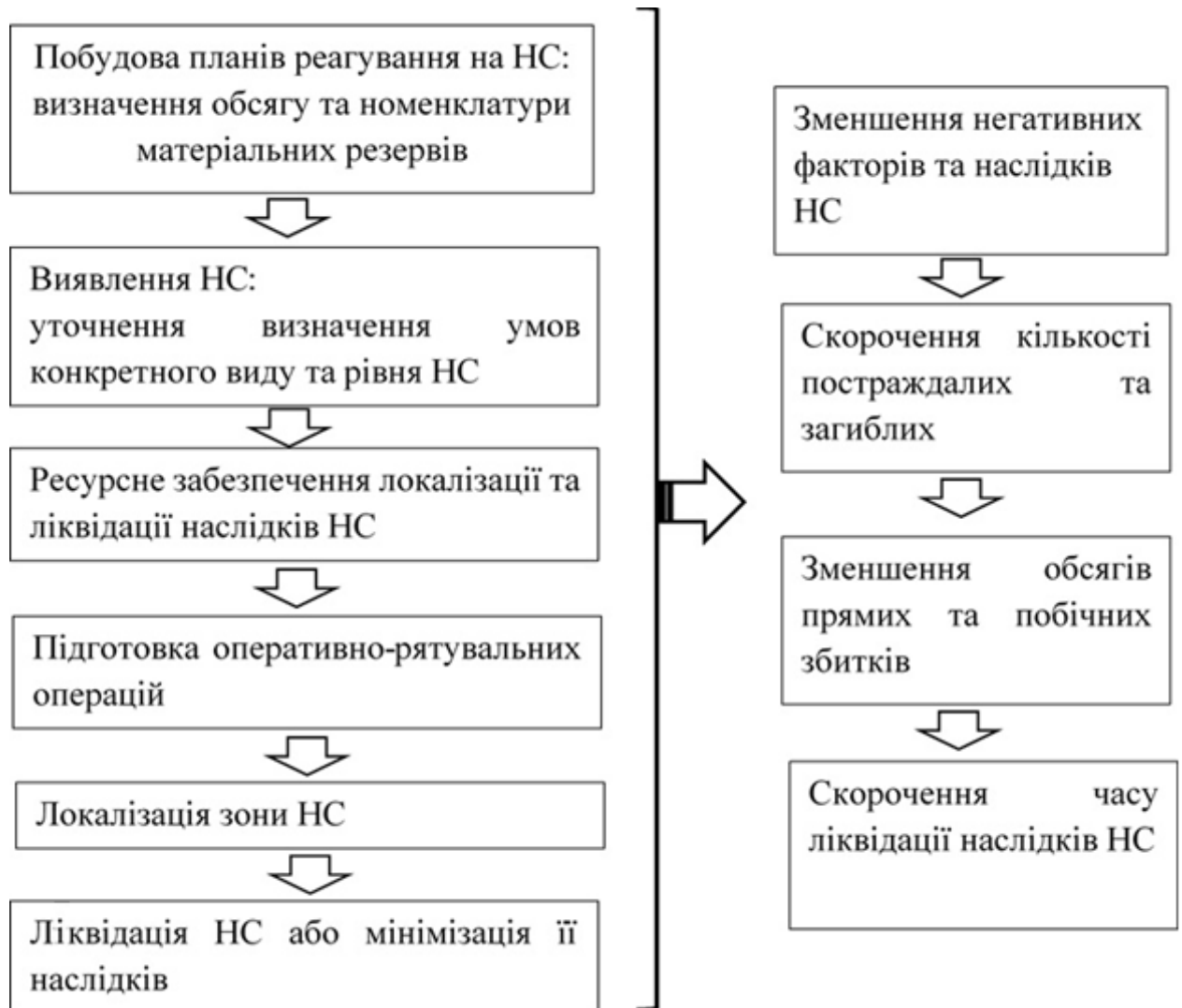


Рис. 2.1. Місце та значення ресурсного забезпечення в процесі реагування на НС

Одним із найважливіших питань реагування на надзвичайну ситуацію вважається доставка необхідних вантажів постраждалому населенню [87 – 91] в зоні ураження.

Розглянемо проблему визначення параметрів ресурсного забезпечення процесу ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

Покладемо, що є визначеним просторовий характер ТНС, що продукується множиною \wp пунктів доставки ресурсів в постраждалі райони певної території S .

Множина пунктів доставки ресурсів в зону надзвичайної ситуації (зону ураження) визначається як

$$\wp = \{ \wp_1, \wp_2, \dots, \wp_1 \}. \quad (2.1)$$

Класифікацію ресурсів, що уможливають проведення реагування на ТНС та ліквідації її наслідків, представлено на рис. 2.2.

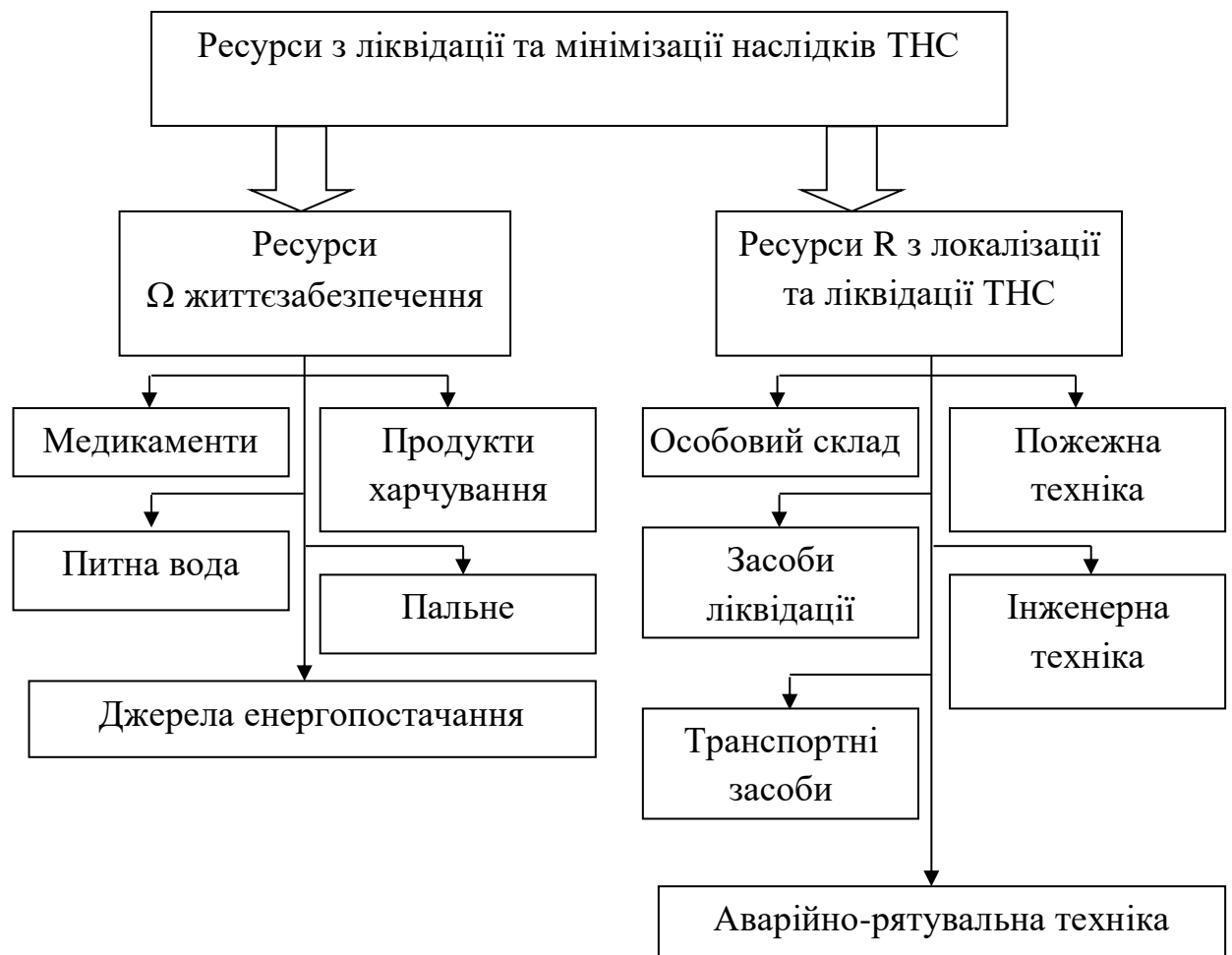


Рис. 2.2. Класифікація ресурсів щодо проведення етапів ліквідації та мінімізації наслідків ТНС

Отже, множина Ω формалізує ресурси $\{\Omega_n\}$ типів $n=1,2,\dots,N_\Omega$, життєзабезпечення районів, постраждалих від ТНС, що мають бути доставленими в зону ураження.

$$\Omega = (\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_{N_\Omega}), \Omega_n = \sum_{i \in I} \Omega_{ni}, \quad (2.2)$$

Перелік Ω містить джерела медикаментів і засобів особистої гігієни, продукти харчування, що не потребують спеціальних умов зберігання (наприклад, консерви), питну воду, теплий одяг, пальне, джерела енергопостачання.

Визначено також множину R ресурсів $\{R_n\}$ типів $n=1,2,\dots,N_R$, необхідних для локалізації та ліквідації ТНС регіонального рівня: пожежна, аварійно-рятувальна та інженерна техніка, спецтехніка, засоби ліквідації тощо:

$$R = (R_1, R_2, \dots, R_{N_R}), \quad (2.3)$$

Ресурси $\{\Omega, R\}$ розміщені в місцях дислокації (Ω^T, R^T) , де $\Omega^T = \{\Omega_1^T, \dots, \Omega_{K_\Omega}^T\}$, $R^T = \{R_1^T, \dots, R_{K_R}^T\}$, що задаються вектором U параметрів розміщення вигляду:

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_K), \quad K = K_\Omega + K_R. \quad (2.4)$$

Запис (2.4) формалізує параметри місць дислокації ресурсів територіальної СЦЗ. Вектор U координат (2.4) може бути заданий як в географічній, так і в прямокутній системах координат [92].

Зауваження 2.1. Множини місць дислокації (Ω^T, R^T) можуть містити ідентичні елементи:

$$\Omega^T \cap R^T \neq \emptyset$$

Взаємозв'язок між множинами Ω_T, Ω, R_T, R визначений залежностями вигляду:

$$\sum_{k=1}^{K_{\Omega}} \Omega_{kn} = \Omega_n, n=1,2,\dots,N_{\Omega}. \quad \sum_{k=1}^{K_R} R_{kn} = R_n, n=1,2,\dots,N_R. \quad (2.5)$$

Також введемо у розгляд вектор V кількостей ресурсів, що передаються від Ω_k^T -го, R_k^T -го джерел i -му пункту доставки:

$$V=(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{N_R K_R}, \dots, v_{N_{\Omega} K_{\Omega}}). \quad (2.6)$$

При цьому необхідно зважати, що наявних ресурсів територіальної СЦЗ може бути недостатньо для вирішення задачі ліквідації ТНС та мінімізації її наслідків, тобто виникне потреба звернутися до вищого рівню ієрархії про допомогу.

2.1.1 Базова графова модель структури розподілу матеріальних ресурсів системи цивільного захисту. Порівняльний аналіз типів організаційних структур, ресурсного забезпечення, прав та обов'язків служб цивільного захисту (цивільної оборони) в країнах світу за основними параметрами, організаційною та функціональною структурою [93] показує їх відмінність від ДСНС.

Загальний огляд актуальних заходів, що вживаються державами – членами Європейського Союзу (ЄС), а також на рівні ЄС для подолання природних та техногенних катастроф наведений у [94].

Регламент реагування на надзвичайну ситуацію та надання екстреної допомоги в рамках Національної системи захисту та цивільної оборони Бразилії (SIN-PDEC) розглянуто в роботі [95]. Схему взаємодії урядових та / або центральних гуманітарних організацій Туреччини, зокрема Турецького

Червоного Півмісяцю (TRC) з метою подолання наслідків надзвичайних ситуацій розглянуто в дослідженні [57].

Єдина державна система цивільного захисту є суто централізованою територіально розподіленою трирівневою системою. Територіальна розподіленість СЦЗ у даному контексті означає розшарування наявних ресурсів системи за районами їх дислокації (u_1, u_2, \dots, u_k) на регіональному рівні.

Розглянемо побудову структури СЦЗ в якості двокольорового графу G вигляду

$$G(V, E),$$

$$V=(V_{\text{ч}}, V_{\text{з}}), E=(E_{\text{ч}}, E_{\text{з}}), \quad (2.7)$$

де вершини $V_{\text{ч}}$ – суб'єкти логістичної системи; вершини $V_{\text{з}}$ – сховища (джерела ресурсів); дуги ($E_{\text{ч}}, E_{\text{з}}$) – шляхи переміщення інформаційних та інших (матеріальних, фінансових тощо) видів ресурсів відповідно.

На рис. 2.3 наведено трирівневе подання структури СЦЗ як логістичної системи. Верхній рівень графової моделі (на світло-жовтому тлі) означає державний рівень формування матеріальних резервів, управління та ресурсного забезпечення процесів ліквідації СЦЗ та мінімізації її наслідків.

Середній (регіональний) рівень логістичного ланцюгу (на блідо-блакитному фоні) моделює компоненти територіальної СЦЗ.

Нижчий рівень – моделює множину пунктів доставки ресурсів в постраждалих райони певної території.

В якості вершин $V_{\text{ч}}$ графа червоного кольору виступають такі суб'єкти логістичної системи, як Кабінет міністрів України, органи державної влади, донорські організації, медичні установи, територіальні підрозділи єдиної державної системи цивільного захисту тощо.

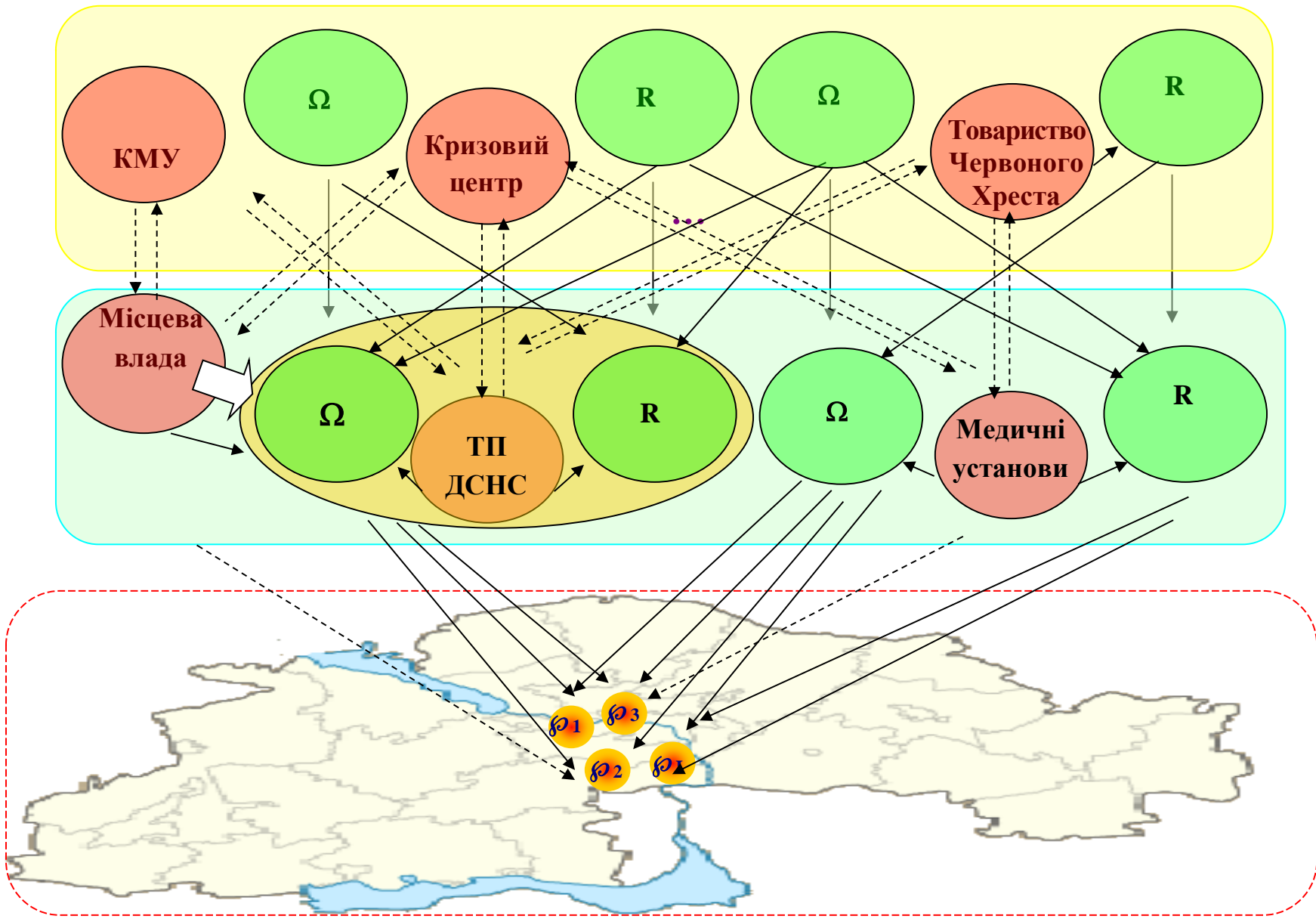


Рис. 2.3. Базова графова модель структури СЦЗ

Крім того, суб'єктами логістичної системи цивільного захисту можуть виступати волонтери та неурядові організації, зацікавлені представники громадськості.

Вершинами V_3 графа зеленого кольору моделюються сховища (джерела ресурсів). Дуги графа є шляхи переміщення інформаційних (штрихові ланки) та матеріальних, фінансових (суцільні лінії) ресурсів відповідно.

Зауваження 2.2. Відзначимо, що дане подання також включає дуги, що поєднують вершини графа на одному рівні, таким чином моделюються горизонтальні шляхи переміщення інформаційних і матеріальних ресурсів на державному та на регіональному рівнях [97].

2.1.2 Графова модель структури розподілу матеріальних ресурсів системи цивільного захисту як основа створення мобільних центрів допомоги. Виділені в п. 1.3. особливості та характеристики надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів критично ускладнюють безпосереднє керівництво рятувальними роботами з єдиного центру управління.

Тому з метою проведення оперативно-рятувальних робіт з локалізації просторово-розподілених масштабних надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, у тому числі в Україні [97, 98] та ліквідації їх наслідків вважається доцільною організація та запровадження роботи тимчасових (на період локалізації НС та ліквідації її наслідків) мобільних центрів допомоги (МЦД).

У складі МЦД мають бути розміщені пересувні пункти управління (ППУ), тимчасові шпиталі, служба психологічної допомоги, сховища продуктів першої необхідності, води, тощо, що скорочує час прийняття управлінського рішення, час надання невідкладної медичної допомоги, час реагування на розвиток ТНС.

Таким чином, вводиться у розгляд множина \aleph МЦД, кількість M яких наперед є невизначеною величиною. Множина пунктів доставки ресурсів

\wp (2.1) розподіляється між МЦД.

Отже, базова графова модель логістичної структури системи цивільного захисту (рис. 2.3) модифікується таким чином, як показано на рис. 2.4. Додається ще один рівень ієрархії стосовно МЦД – нові вершини графової моделі, що на рис. 2.4. показані блакитним кольором – та відбувається упорядкування інформаційних і матеріальних прямих та зворотніх потоків життєзабезпечення та евакуації постраждалих і виконання аварійно-рятувальних робіт.

При цьому вектори V_m :

$$V_m = (v_{1m1}, v_{1m2}, \dots, v_{NmK_R}, \dots, v_{BmK_\Omega}). \quad (2.7)$$

кількостей ресурсів, що передаються від джерел Ω_k^T, R_k^T елементу множини \aleph , можуть мати нульові компоненти.

У свою чергу кількості ресурсів, що передаються від m -го МЦД тимчасово підпорядкованому пункту \wp_i , виражаються формулою:

$$V_{mi} = (v_{mi1}, v_{mi2}, \dots, v_{miK_R}, \dots, v_{miK_\Omega}). \quad (2.8)$$

Отже, на основі формізації та аналізу розподілу матеріальних ресурсів системи цивільного захисту при організації реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на АСБ у вигляді ієрархічної графової моделі обґрунтовано необхідність та визначено місце мобільних центрів допомоги в даній ієрархії, що закладає організаційну основу підвищенню ефективності безпосереднього керівництва оперативно-рятувальними роботами.

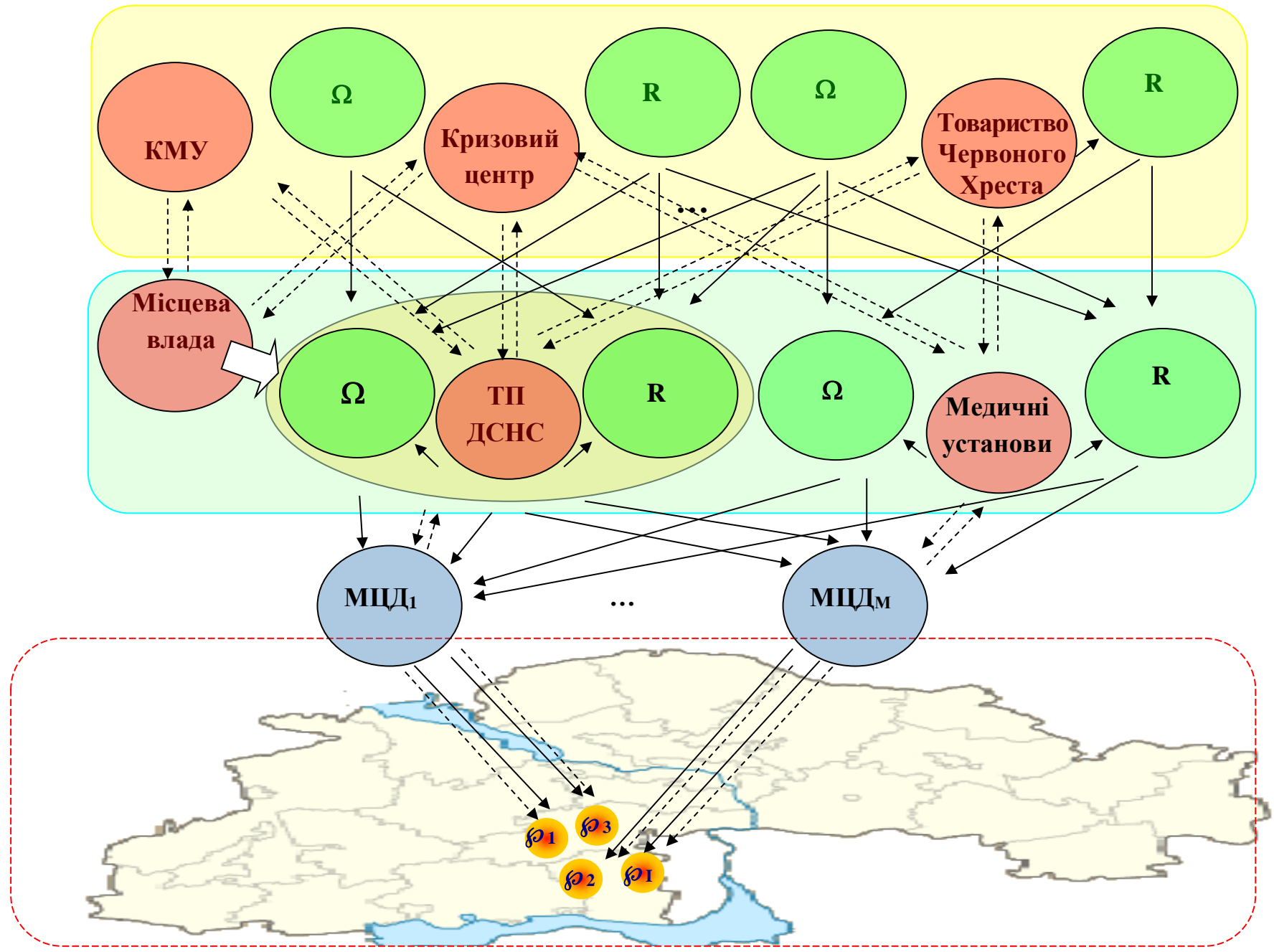


Рис. 2.4. Графова модель структури СЦЗ з урахуванням наявності мобільних центрів допомоги

2.2 Узагальнена постановка задачі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту

Етап стратегічного планування оптимального розподілу ресурсів щодо ліквідації наслідків надзвичайної ситуації включає такі взаємопов'язані задачі, як визначення транспортних маршрутів доставки вантажів у зону ураження, так і розміщення мобільних центрів допомоги (МЦД), максимально наближених до зони НС. Перш за все, як зазначається в [109], необхідною операцією є визначення потреби у ресурсах щодо ліквідації наслідків НС в зоні ураження.

Зовнішнє середовище надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на АСБ, що швидко змінюється, значна номенклатура товарів першої необхідності, ліків, медичного обладнання, жорсткі часові та інші обмеження, визначені в роботі [110], виводять задачу доставки вантажів щодо ліквідації НС, що включає визначення типів транспортних засобів і відповідних транспортних маршрутів, за рамки класичної транспортної задачі.

Ця задача є NP-важкою, багатовимірною, у загальному випадку багатокритеріальною, і для її розв'язання авторами пропонується низка евристичних методів, що ґрунтуються на комбінованій схемі, яка містить засоби імітаційного моделювання та еволюційні алгоритми [111, 112].

Позначимо через $\bar{R} = (\bar{R}_1, \bar{R}_2, \dots, \bar{R}_{N_R})$ верхню межу наявних ресурсів, що є у розпорядженні територіальної СЦЗ на момент виникнення ТНС, де N_R – кількість всіляких ресурсів, при цьому можливо, деякі $\bar{r}_n = 0$, $n \in \{1, \dots, N_R\}$. Відмітимо, що при розв'язанні задачі оптимізації вектор $\bar{R} = (\bar{R}_1, \bar{R}_2, \dots, \bar{R}_{N_R})$ розгортається у матрицю $\bar{R}M = (\bar{R}_{nk})_{N_R \times K_R}$, де $\bar{R}_n = \sum_{k \in K_R} \bar{R}_{nk}$.

При цьому необхідно зважати на такі характеристики ТНС:

$$\mathfrak{T} = \{t, \tau, \mathfrak{T}_1, \mathfrak{T}_2, \mathfrak{T}_3, \mathfrak{T}_4\}, \quad (2.9)$$

де t – час виникнення ТНС; τ – час локалізації ТНС;

кортеж \mathfrak{T}_1 | «Географічна локація: розподілена, зосереджена»;

\mathfrak{T}_2 | «Характер рельєфу території: рівнина, гірська місцевість»;

\mathfrak{T}_3 | «Тип: хімічна, радіаційна, біологічна, змішана»;

\mathfrak{T}_4 | «Рівень ТНС за тяжкістю втрат: низький (об'єктовий), середній (регіональний), високий (державний)».

В даній дисертаційній роботі основну увагу зосереджено на дослідженні надзвичайних ситуацій, пов'язаних із вибухами на арсеналах, складах боєприпасів, тому характеристика \mathfrak{T}_3 вважається заданою.

Вищезаначені характеристики ТНС є екзогенними параметрами задачі оптимізації ресурсного забезпечення процесу її локалізації та ліквідації наслідків.

Таким чином, узагальнена математична модель оптимізації ресурсів територіальної СЦЗ у режимі надзвичайної ситуації техногенного характеру являє собою систему (декомпозицію) таких підзадач (рис. 2.4).

1. Визначення необхідних обсягів ресурсів щодо локалізації та ліквідації ТНС, іншими словами, визначення попиту на ресурси в загальному випадку скінченій множині $\wp = \{ \wp_i \}_{i \in I}$ пунктів доставки.

1.1. Задача визначення необхідних обсягів різних видів ресурсів Ω в кількостях $(\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_{N_\Omega})$, $\Omega_n = \sum_{i \in I} \Omega_{ni}$, життєзабезпечення району,

постраждалого від НС. Ресурси Ω включають, зокрема, продукти харчування, що не потребують спеціальних умов зберігання (наприклад, консерви), питну воду, теплий одяг, медикаменти і засоби особистої гігієни.



Рис. 2.5. Декомпозиція задачі ресурсного забезпечення процесу ліквідації ТНС та мінімізації її наслідків

1.2. Задача визначення обсягів ресурсів $R=(r_1, r_2, \dots, r_M)$, необхідних для локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на АСБ, тобто відновлення нормального функціонування території.

До ресурсів R належать спецтехніка та засоби ліквідації ТНС визначеного типу. В рамках даної задачі виходячи з параметрів НС, віддаленості джерел води та других умов визначається загальна кількість та типи потрібної пожежно-рятувальної та допоміжної техніки.

1.3. Задача адаптації структури $G(V,E)$ територіальної СЦЗ до умов ТНС, яка реалізована: мобільні шпиталі, розгортання польових штабів, таборів для біженців тощо, тобто додавання нових (тимчасових) вершин до G , які не є ізольованими (рис. 2.4.).

Зауваження 2.3. В залежності від виду ТНС задача 1.3. може бути переформульована як задача доставки постраждалих до стаціонарних пунктів гуманітарної допомоги.

При цьому ще одним критичним ресурсом є час t , оцінка якого складається з часу t_1 доставки ресурсів множини Ω до кінцевого споживача, часу t_2 засобів локалізації ТНС, та часу ліквідації наслідків t_3 :

$$t = \max(t_1, t_2) + t_3.$$

Зауваження 2.4. Ресурси R_1, R_2, \dots, R_{N_R} є нелінійними функціями часу t . Одним з можливих видів апроксимації може слугувати опукла вгору квадратична функція.

Зауваження 2.5. На час доставки ресурсів життєзабезпечення певних видів ресурсів можуть накладатися додаткові умови, наприклад, якщо це дози крові у спеціальному обладнанні, певні види ін'єкцій, радіаційні препарати тощо.

2. Визначення оптимальних шляхів транспортування ресурсів.

Вектор кількостей ресурсів $V = (v_{111}, v_{112}, \dots, v_{N_R I K_R}, \dots, v_{N_\Omega I K_\Omega})$, що передаються від m -го джерела i -му пункту доставки, у тому числі через мобільні центри допомоги визначаються формулами (2.7), (2.8).

2.2.1 Побудова множини частинних критеріїв ефективності задачі ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Розглянемо множину критеріїв ефективності функціонування логістичної системи територіальної СЦЗ, за умов задач 1 та 2, що розглядаються.

По-перше, це критерій максимального задоволення потреб постраждалих (максимальний обсяг необхідних ресурсів):

$$F_i(v_{111}, \dots, v_{Mik}) = \left[\sum_{n \in N_\Omega} (\Omega_{ni} - \sum_{k \in K_\Omega} v_{nik})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (2.10)$$

$$\sum_{i \in I} F_i(v_{111}, \dots, v_{N_\Omega K_\Omega}) \rightarrow \min. \quad (2.11)$$

По-друге, це критерій $F_2(v_{11}, v_{12}, \dots, v_{N_\Omega K_\Omega})$ вартості доставки (мінімізація ресурсів територіальної СЦЗ по обслуговуванню побудованої логістичної мережі):

$$F_2(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{N_\Omega K_\Omega}) = \sum_{n \in (N_\Omega + N_R)} \sum_{i \in I} \sum_{k \in (K_\Omega + K_R)} c_{nik} v_{nik} \quad (2.12)$$

$$F_2(v_{111}, v_{112}, \dots, v_{N_\Omega K_\Omega}) \rightarrow \min, \quad (2.13)$$

де c_{nik} – питомі витрати транспортування на одиницю ресурсів.

По-третє, це критерій часу доставки критичних вантажів (мінімізація зваженого часу доставки):

$$t_{\text{trevel}} = \max_{nik} t_{nik}, \quad (2.14)$$

$$t_{\text{trevel}} \rightarrow \min, \quad (2.15)$$

де t_{trevel} – час доставки ресурсів з урахуванням упорядкування операцій гуманітарної спрямованості та з ліквідації наслідків ТНС; t_{nik} – час доставки n -го типу ресурсів з k -го джерела i -му пункту доставки.

Таким чином, математична модель задачі оптимізації ресурсів СЦЗ є багатокритеріальною задачею умовної нелінійної оптимізації. Дана задача припускає декомпозицію на сукупність підзадач більш простої структури.

2.2.2 Побудова множини геометричних обмежень задачі ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Обмеження задачі ресурсного забезпечення можна розділити на кілька типів.

По-перше, це геометричні обмеження, що задають конфігурацію зони S надзвичайної ситуації. Як на етапі побудови прогнозу моделі розвитку надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, так, і на етапі оперативного планування геометричні параметри зони S об'єктивно неможливо задати точно.

Тому розглянемо визначення параметрів ураженої території S надзвичайної ситуації із застосуванням нечіткомножинного підходу.

Геометричні параметри зони ураження (y_1) / зони ТНС (y_2) – задаються радіусом дії r , що є нечітким числом – нечіткою числовою множиною.

Характеристикою нечіткої множини виступає функція приналежності, що дозволяє обчислити ступінь приналежності нечіткій множині довільного елемента в універсальній множині, в якості якої в даному випадку виступає числова вісь.

Функції приналежності зручно задавати в параметричній формі. Найбільшого поширення набули трикутна, трапецієподібна, гауссова і сігмоїдна функції приналежності. Для подання чітких чисел у вигляді нечітких множин застосовується функція приналежності Сінглтона. В даному дослідженні будемо використовувати трикутну функцію приналежності, аналітичний вираз якої [113] наведений нижче.

$$\mu(y) = \begin{cases} 0, & y \leq a \text{ або } y \geq c \\ \frac{y-a}{b-a}, & a < y < b, \\ \frac{c-y}{c-b}, & b < y < c \end{cases} \quad (2.16)$$

де (а, с) – носій нечіткої множини – песимістична оцінка нечіткого числа; b – координата максимуму – оптимістична оцінка нечіткого числа.

Аналогічним чином задається кількість y_3 населення в ураженій зоні / y_4 зони наслідків надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів на арсеналах та складах.

Повернемося до параметрів зони ТНС. Територія S , що є об'єктом захисту, моделюється замкненим багатокутником $\Psi(x^S, y^S)$, метричні характеристики якого задані координатами вершин (x_n^S, y_n^S) $n=1,2,\dots, N^S$ у загальній системі координат, яка є зв'язаною з областю S (рис. 3.2.).

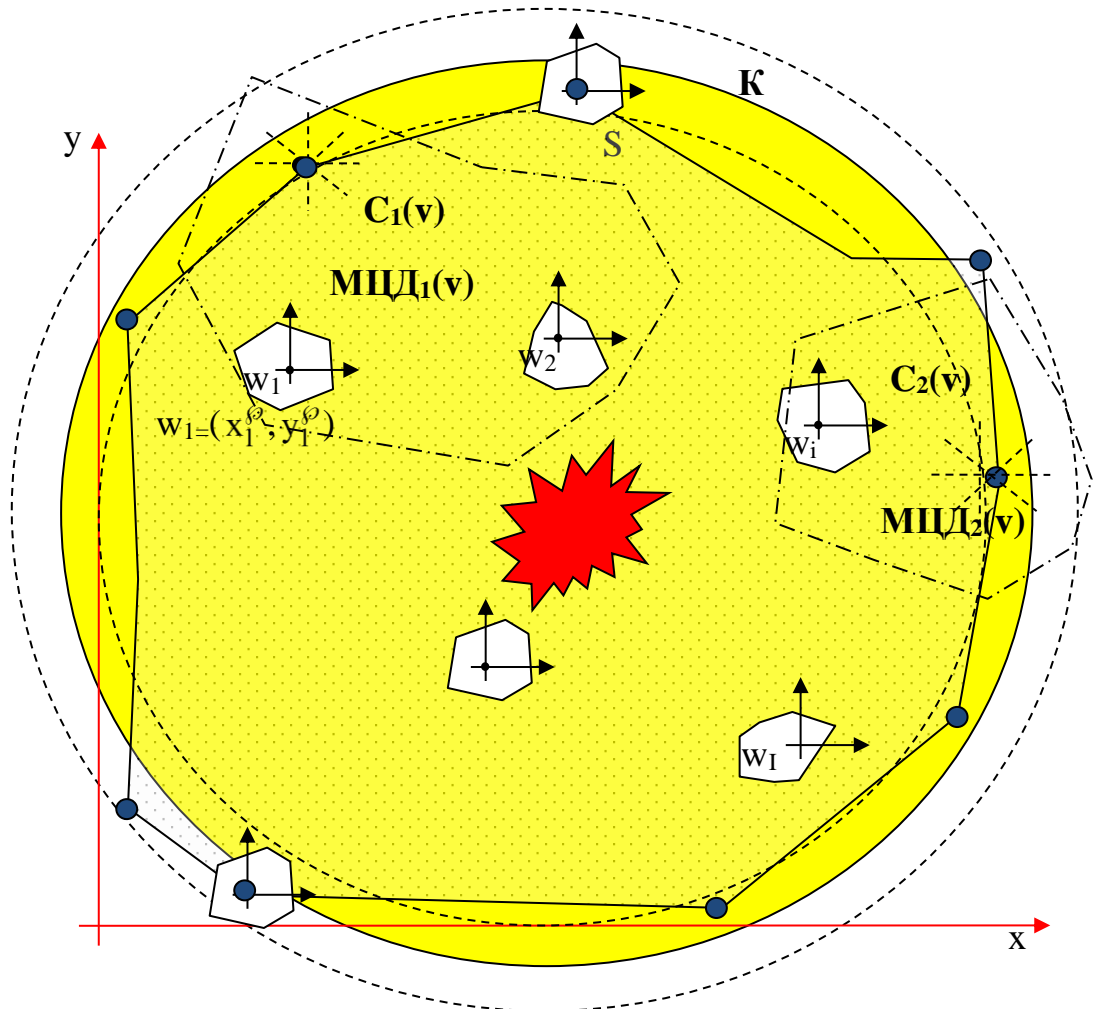


Рис. 2.6. Побудова апроксимаційного багатокутника $\Psi(x^S, y^S)$

$\Psi(x^S, y^S)$ – апроксимаційний багатокутник, вершини якого – (x_n^S, y_n^S) , $n=1,2,\dots, N^S$, $N^S \leq I$ – координати центрів населених пунктів, найближчих до границі $c > a$ нечіткого числа (a, c) , що задає радіус r зони S .

Таким чином, на площині XOY нечітка множина (a, c) задає кільце K , що на рис 2.6. показане штриховими лініями.

Ще одним елементом вихідної інформації є вектор w параметрів розміщення множини \wp населених пунктів у загальній системі координат:

$$w = \{(x_1^{\wp}, y_1^{\wp}), (x_2^{\wp}, y_2^{\wp}), \dots, (x_I^{\wp}, y_I^{\wp})\}$$

Параметри розміщення множини \wp об'єктів є сталими та зв'язані з певною внутрішньою точкою, що має назву полюсу (центру) об'єкта. Вважатимемо, що геометричною моделлю об'єкту \wp_i є однойменний замкнений опуклий багатокутник \wp_i , вершини якого задані у власній системі координат. Такий багатокутник будується, наприклад, в інтерактивному середовищі Google Maps (рис. 2.7.) на карті території S як опукла оболонка реального населеного пункту.

Координати центру та вершин багатокутника \wp_i подаються в середовищі Google Maps в абсолютному вимірі, тому у якості точки відліку загальної системи координат можна прийняти, наприклад точку на карті Європи з координатами («довгота – м. Чоп», «широта – м. Ізмаїл») таким чином, щоб територія країни розташовувалась в умовному першому квадраті площини.

При цьому за замовчуванням координати вершин та центру \wp_i задаються у географічних координатах (φ, λ) , де φ – це широта, λ – довгота вершини багатокутника \wp_i , що вимірюється.

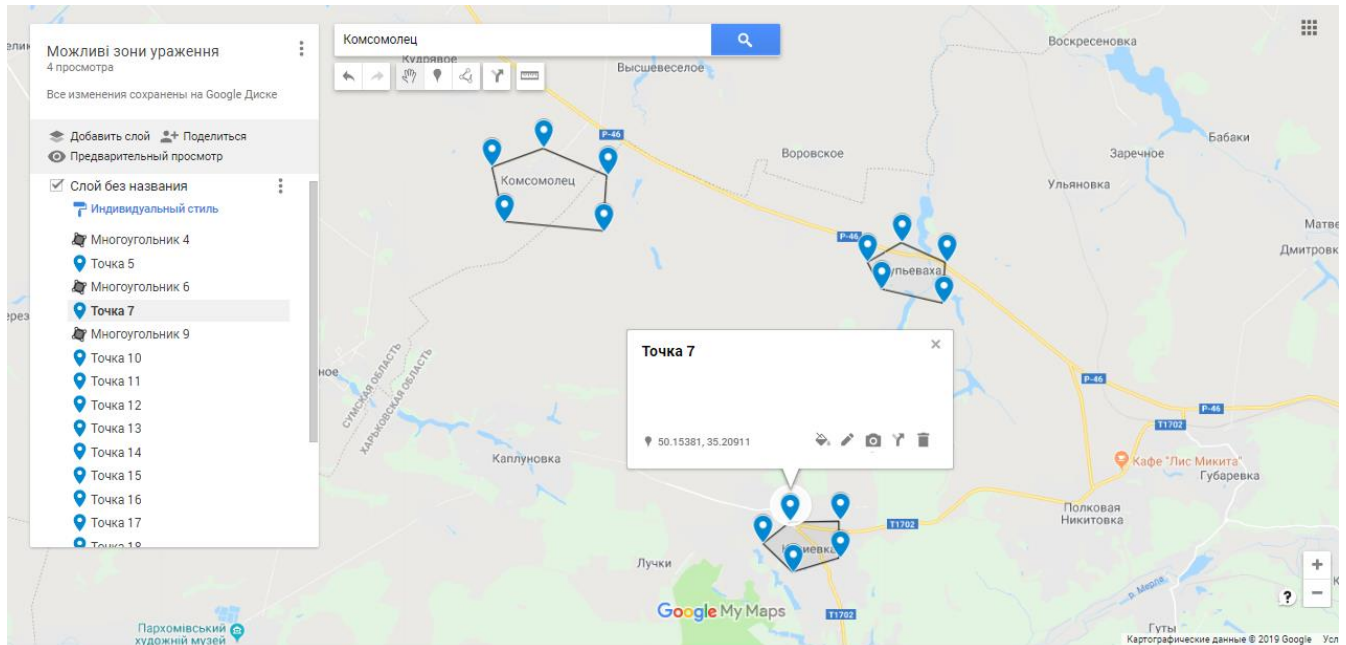


Рис. 2.7. Побудова геометричної моделі населеного пункту \wp_i в середовищі Google Maps

Перехід від географічної системи координат до прямокутної системи здійснюється із застосуванням зональної системи прямокутних координат Гаусса. При цьому зона – це фрагмент поверхні Землі, обмежений меридіанами через 6° довготи. Наближене визначення координат є таким (рис. 2.8):

$$\cos d_{ab} = \sin \varphi_a \sin \varphi_b + \cos \varphi_a \cos \varphi_b \cos(\lambda_a - \lambda_b);$$

$$\cos(\Delta x_{ab}) = \sin(\varphi_a + \varphi_b);$$

$$\cos(\Delta y_{ab}) = \sin^2 \varphi_a + \cos^2 \varphi_a \cos(\lambda_a - \lambda_b).$$

Визначимо підмножину \wp_h , $h=1,2,\dots, N < I$, населених пунктів, що належать кільцю K – геометричному образу нечіткої множини (a, c) :

$$\{\wp_h\} = K \bigcup_{i \in I} \wp_i.$$

Множина φ_h , $h=1,2,\dots, N$, формує припустиму множину можливих локацій мобільних центрів допомоги.

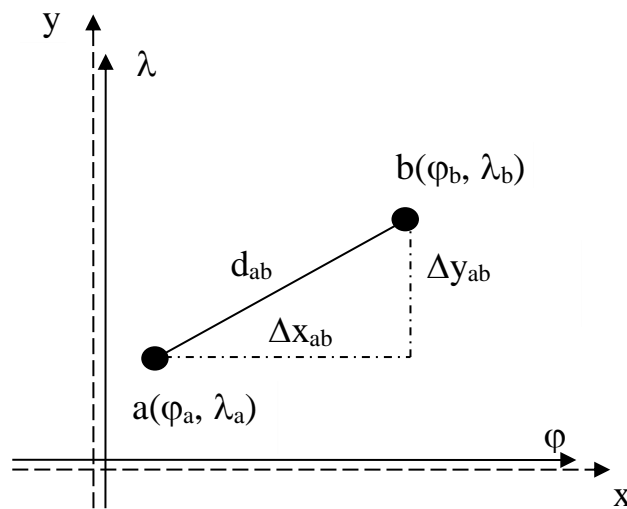


Рис. 2.8. Наближене визначення координат в прямокутній системі за значеннями в географічній системі координат

Покладемо, що кожен населений пункт φ_i генерує запит (однойменний кортеж) φ_i щодо обсягу необхідних вантажів, таких як предмети першої необхідності, елементи обладнання, ліки.

Вихідними параметрами формалізованого сценарію є вектор координат розміщення МЦД:

$$v = \{v_1, \dots, v_m, v_M\} = \{(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m), \dots, (x_M, y_M)\},$$

де $v_m = (x_m, y_m)$ – координати розміщення полюсів m -го МЦД, $m=1,2,\dots,M$, на території S .

Визначальним параметром m -го МЦД є потужність P_m за напрямками руху.

Визначення 2.1. Потужність P_m m -го МЦД є вектором та визначається через відстані до найвіддаленіших точок території S , які за регламентом можна віднести до зони впливу даного МЦД.

При цьому необхідно зважати на наявність та стан під'їзних шляхів, а

також від типів транспортних засобів, що є в наявності у m -го МЦД.

Отже, $P_m(v_m)$ є функцією рельєфу місцевості, характеристик під'їзних шляхів та наявних транспортних засобів і змінюється згідно розташування m -го МЦД. Крім того, навіть для визначеного v_m величина P_m є функцією від напряму прямування.

Таким чином, просторовий розподіл P_m можна апроксимувати багатокутником C_m , загалом неопуклим. Далі вважатимемо вирази C_m і $C_m(v_m)$; \wp_i і $\wp_i(w_i)$ еквівалентними.

Зауваження 2.6. Форма багатокутника C_m може бути визначеною заздалегідь – на стратегічному рівні планування. Цей опис стає початковою точкою для розв'язання тактичної задачі розподілу ресурсів в умовах реалізованої НС.

Зауваження 2.7. Багатокутник C_m є геометричний об'єкт у загальному випадку із змінними метричними характеристиками та просторовою формою [114, 115]. В залежності від параметрів розміщення центру C_m на території S , тобто в залежності від взаємного розташування C_m та реципієнтів допомоги \wp_i координати вершин (x_ζ^m, y_ζ^m) , $\zeta=1,2,\dots,n_m$, багатокутника C_m у власній системі координат змінюються.

Покладемо $f_m^\zeta(x_m, y_m, x, y) \geq 0$, $\zeta=1,2,\dots,n_m$, – набір лінійних нерівностей, таких, що $(x, y) \in C_m$.

Зауваження 2.8. Щодо форми об'єкта C_m . В залежності від наявних типів транспортних засобів форма C_m може відрізнятися.

Наприклад, для гвинтокрила це є коло, для залізничного транспорту – еліпс, орієнтований по залізничному полотну, для автомобільного транспорту – багатокутник.

Параметри розміщення об'єкта C_m збігаються з параметрами розміщення $v_m = (x_m, y_m)$ m -го МЦД.

2.2.3 Визначення параметрів оптимального розміщення множини мобільних центрів допомоги – задача покриття. Для вирішення задач етапу стратегічного планування в рамках сценарного підходу визначаються можливі алгоритми дії територіальних підрозділів ДСНС та передбачається розв’язання низки оптимізаційних задач стосовно розгортання мережі МЦД.

Множина оптимізаційних задач є такою:

Задача 1. Визначити параметри оптимального розміщення множини МЦД визначеної потужності в зоні S надзвичайної ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів.

Задача 2. Визначити оптимальну кількість МЦД визначеної потужності на території S для забезпечення прийняттого рівню ліквідації наслідків НС, пов’язаних з вибухами боєприпасів.

Зауваження 2.9. Задача 2 є двоїстою стосовно Задачі 1.

Розв’язання перших двох задач безпосередньо пов’язане із Задачею 3 щодо визначення обсягу недостатніх ресурсів, постачання яких є в компетенції підрозділів ДСНС вищого рівня ієрархії.

Математична модель Задачі 1 має вигляд:

$$\min_{v \in D \subset E^{2M}} \sum_{m=1}^M \sum_{n=m+1}^M [\omega_{mn}(v_m, v_n) + \omega_m^S(0, v_m)], \quad (2.17)$$

де область допустимих значень D задається умовою $\bigcup_{i=1}^I \wp_i \subset \bigcup_{m=1}^M C_m$, функція $\omega_{mn}(v_m, v_n)$ визначає площу області взаємного перекриття об’єктів (C_m, C_n) , функція $\omega_m^S(0, v_m)$ визначає площу області взаємного перекриття об’єктів C_m та $cl(E^2/S)$, $m, n = 1, 2, \dots, M$, $m \neq n$.

Зауваження 2.10. При визначенні функцій $\omega_{mn}(v_m, v_n)$, $\omega_m^S(0, v_m)$, на відміну від відомих постановок, необхідно зважати на факт необхідності покриття множини багатокутників \wp_i , а не всієї багатокутної області S .

Як результат розв'язання Задачі 1. може виникнути підзадача вилучення надлишкових МЦД, видалення яких не призводить до порушення умови покриття області $\bigcup_{i=1}^I \varphi_i$.

Одним з перспективних підходів до моделювання та розв'язання задач планування оптимального розподілу ресурсів є застосування теорії і методів оптимізаційного геометричного проектування, а саме – математичних моделей і оптимізаційних методів розв'язання задач покриття [116 – 118] та задач оптимального розміщення об'єктів визначених типів, а також суміжного наукового напрямку – теорії оптимального розбиття множин. В табл. 2.1. надано стисло порівняльну характеристику основних елементів та особливостей задач сімейств покриття, розміщення та розбиття.

Таблиця 2.1.

Порівняльна характеристика задач покриття, розміщення та розбиття

Покриття	Розміщення	Розбиття
Елементи моделі: область		
Область покриття S_0	Область розміщення S	Область розбиття S
Метричні характеристики області		
Задані	Задані	Задані
Елементи моделі: об'єкти		
об'єкти покриття S_i	об'єкти розміщення S_i	підмножини розбиття S_i
Метричні характеристики об'єктів		
Змінні	Змінні	Змінні
в загальному випадку в залежності від типу задачі		
Приналежність об'єктів S_i області S_0		
$S_0 \subseteq \cup S_i$	$\cup S_i \subset S_0$	$\cup S_i = S_0$
Умова попарного неперетину об'єктів		
Відсутня	Є	Є

З цієї точки зору цікавою є фундаментальна робота [119], в якій проведено ґрунтовний аналіз різних типів задач покриття та викладено метод розв'язання задачі покриття, побудований на основі теорії оптимального розбиття множин.

З табл. 2.1. видно, що концептуальними є розбіжності в умовах обмежень задач, що описують основні взаємовідносини між областю та об'єктами покриття (розміщення, розбиття).

Моделювання та розв'язання класів задач, що розглядаються: задач покриття, задач розміщення та задач розбиття – основане в кінцевому підсумку на перетворенні інформації щодо геометричних характеристик об'єктів дослідження. В якості геометричних характеристик в залежності від типу задачі подаються не тільки власне ці характеристики, але і фізичні, статистичні, вартісні та інші параметри.

Характерною ознакою задачі планування оптимального розподілу ресурсів щодо виконання операцій з ліквідації наслідків НС є невизначеність типів та обсягів необхідних критичних ресурсів. В просторі ресурсів такі операції моделюються як геометричні об'єкти зі змінними метричними характеристиками [114, 115].

Таким чином, Задача 1 у постановці (2.17) є задачею про оптимальне покриття двовимірної області скінченою множиною багатокутників S_m , $m=1,2,\dots,M$.

Розглянемо оптимізаційну задачу покриття (2.17) як задачу розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками у просторі параметрів розміщення об'єктів S .

Функцією мети задачі розміщення набору геометричних об'єктів в замкненій області S є така:

$$M(v) \rightarrow \min_{v \in D}, \quad (2.18)$$

де область D визначається обмеженнями:

1. Зони впливу C_m мають відповідати умовам взаємного неперетину:

$$\text{cl}C_m \cap \text{cl}C_n = \emptyset, \quad n, m = 1, 2, \dots, M, n \neq m, \quad (2.19)$$

2. Кожний населений пункт \wp_i має належати одній із зон C_m :

$$\wp_i \cap \text{cl}C_m = \wp_i, \quad i=1, 2, \dots, I, \quad (2.20)$$

або в послабленому формулюванні:

$$(x_i^{\wp}, y_i^{\wp}) \in \text{cl}C_m, \quad (2.21)$$

3. Зона впливу C_m може частково не належати області S :

$$C_m \cap E^2 / S \neq \emptyset, \quad (2.22)$$

Тому надамо виразу (2.22) таку інтерпретацію:

$$h_m \cap E^2 / S = \emptyset, \quad (2.23)$$

де $h_m = h_m(v_m)$ – замкнений всюди щільний [120] окіл полюсу $v_m \in C_m(v_m)$; \emptyset – порожня множина [120]; $\text{cl} \{ \}$ – замикання точкової множини.

Зауваження 2.11. Покладемо, що обмеження (2.22) – (2.23) застосовуються для забезпечення включення в зону впливу C_m локацій \wp_h таких, що

$$\begin{aligned} \text{cl} \wp_h \cap K &\neq \emptyset, \\ h &= 1, 2, \dots, H. \end{aligned}$$

Для аналітичного опису обмежень (3.10 – 3.14) застосуємо апарат Φ -функцій параметрів розміщення об'єктів [122]. Класична Φ -функція задає неперетин, торкання та перетин пари об'єктів із сталими метричними характеристиками та формою.

Якщо в якості $C_m(v_m)$, $C_l(v_l) \subset E^2$ розглядаються опуклі багатокутники, то 0-поверхня $\Phi_{mj}(v_m, v_j)$ -функції [123], що описує торкання об'єктів, є замкненою багатогранною поверхнею T_{ij} , що містить K гіперплощин T_{ij}^k , кожна з яких задається лінійним рівнянням $f_{ij}^k(v_m, v_j) = 0$ із лівою частиною вигляду:

$$A^g(y_{k,k+1}^m, y_{q,q+1}^l)(x_m - x_l) + B^g(x_{k,k+1}^m, x_{q,q+1}^l)(y_m - y_l) + C^g(x_{k,k+1}^m, x_{q,q+1}^l, y_{k,k+1}^m, y_{q,q+1}^l),$$

$$g=1, 2, \dots, G \leq (n_m + n_j), k=1, \dots, n_m, q=1, \dots, n_j,$$

де $(x_{k,k+1}^m, x_{q,q+1}^l, y_{k,k+1}^m, y_{q,q+1}^l)$ – двовимірні вектори, наприклад, $x_{k,k+1}^m = (x_k^m, x_{k+1}^m)$.

В разі, якщо об'єкт $C_m(v_m)$ є неопуклим, то використовується подання

$$C_m(v_m) = \bigcup_{\lambda=1}^{\aleph_m} K_{\lambda m}(v_m) \text{ у вигляді об'єднання опуклих компонент } K_{\lambda m}(v_m),$$

$$\lambda_m = 1, 2, \dots, \aleph_m.$$

Висновки до розділу 2

1. Наведено подання територіальної системи цивільного захисту як логістичної системи, визначені характеристики ресурсного забезпечення

процесу реагування на надзвичайної ситуації техногенного характеру та мінімізації її наслідків. На основі формалізації процесу розподілу матеріальних ресурсів системи цивільного захисту при організації реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів у вигляді ієрархічної графової моделі обґрунтовано необхідність та визначено місце мобільних центрів допомоги в даній ієрархії, що закладає організаційну основу підвищенню ефективності безпосереднього керівництва оперативно-рятувальними роботами.

2. Здійснено розробку та аналіз узагальненої математичної моделі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту як логістичної системи. Розроблена математична модель є багатокритеріальною задачею умовної нелінійної оптимізації, що припускає декомпозицію на сукупність підзадач більш простої структури. В рамках даної моделі розв'язано задачу покриття потреби в ресурсах під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації даного типу, що є просторово-розподіленою. Задача вирішується за рахунок розміщення на території надзвичайної ситуації певної кількості тимчасових мобільних центрів допомоги визначеної потужності.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ

Розроблено етапи стратегічного планування обсягів матеріальних резервів та застосування сценарного підходу до прогнозування обсягів ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру та мінімізації їх наслідків з урахуванням невизначеності завдання їх параметрів.

Визначені інструментальні засоби оцінки рівня техногенної безпеки території можливої ТНС як першого етапу організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.

Наведено формалізацію рівнів ресурсного забезпечення в залежності від властивостей можливої ТНС на основі нечіткомножинного підходу.

Обґрунтовано алгоритм зведення задачі покриття до задачі розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками в заданій області з урахуванням стану транспортних мереж території.

Основні результати розділу викладені в публікаціях [14, 18, 20, 21, 25, 26, 30, 31].

3.1 Алгоритм оцінки рівня техногенної безпеки території можливої надзвичайної ситуації техногенного характеру

Проблема ресурсного забезпечення процесу реагування на ТНС, що є базовою задачею логістики катастроф та важливим інструментом мінімізації наслідків НС, містить етапи планування, організацію, координацію, розподіл ресурсних (матеріальних, фінансових, інформаційних) потоків. В цьому сенсі

визначальною є задача стратегічного планування процесів розподілу та зберігання необхідного обсягу ресурсного забезпечення реагування та ліквідації надзвичайної ситуації силами територіальних підрозділів ДСНС за умови можливої ураженості певної території S , що містить скінчену множину \wp населених пунктів $\wp = \{ \wp_1, \wp_2, \dots, \wp_I \}$ доставки ресурсів, які є локусами районів, постраждалих від НС.

Загалом задача стратегічного планування ресурсного забезпечення, тобто задача формування матеріальних ресурсів притаманна режиму повсякденного функціонування ТП ДСНС (рис. 3.1).

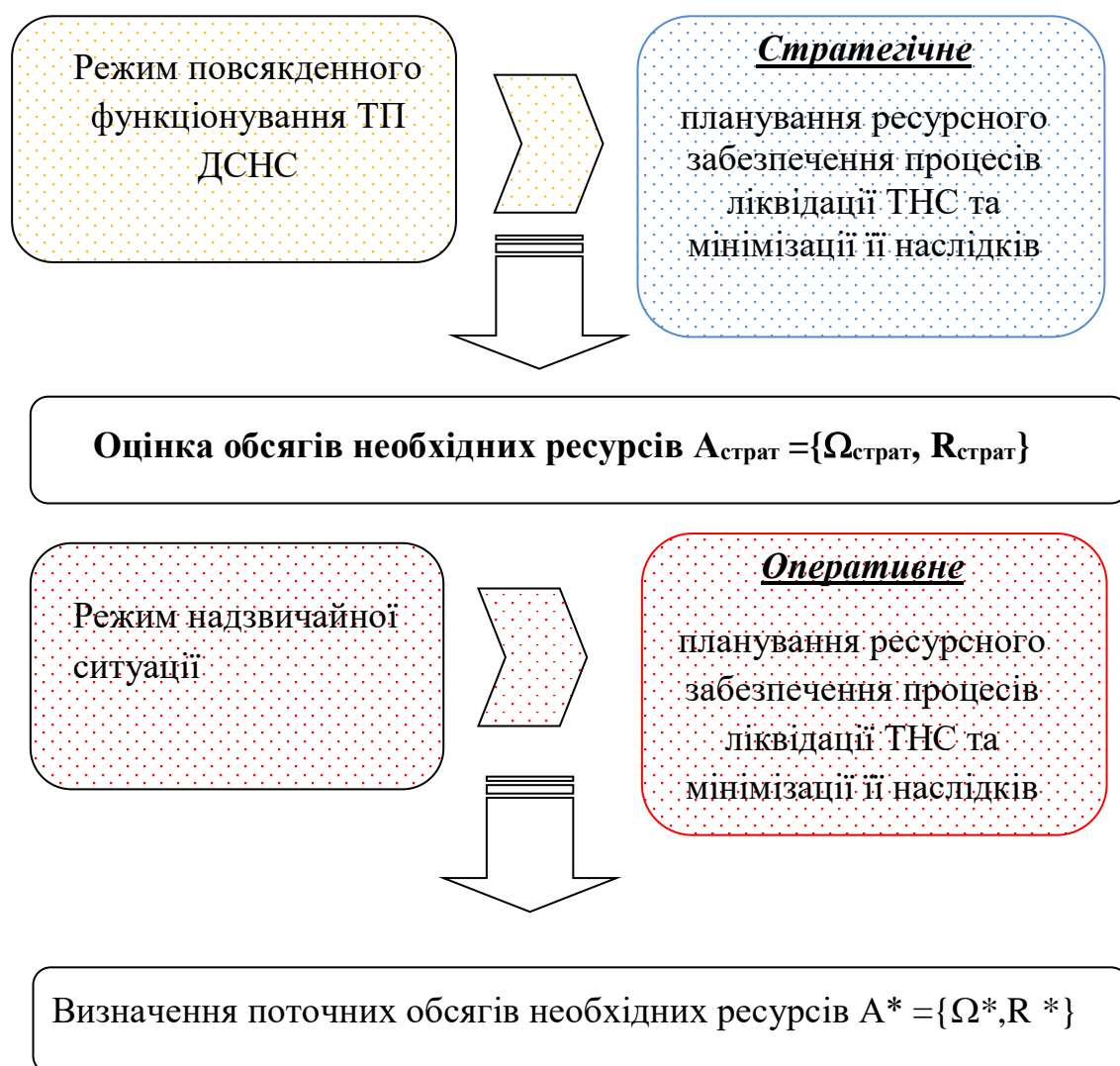


Рис. 3.1. Взаємозв'язок задач стратегічного та оперативного планування ресурсного забезпечення реагування на НС

У той же час задачі оперативного планування ресурсного забезпечення процесів реагування та ліквідації ТНС та мінімізації її наслідків вирішуються в режимі надзвичайної ситуації, тобто плани реагування на НС уточнюються в умовах конкретного виду та рівня НС.

Модель побудови стратегічного плану формування матеріальних резервів має вигляд:

$$A_{\text{страт}} = F(P), \quad (3.1)$$

де $A_{\text{страт}}$ – багатомірна оцінка ресурсів на стратегічному рівні,

P – множина властивостей можливої ТНС і оточуючого середовища.

В режимі надзвичайної ситуації відбувається ситуативне планування, що виражається в адаптації, уточненні параметрів стратегічного плану $A_{\text{страт}}$ в залежності від характеристик ТНС, що відбулась:

$$A^* = A_{\text{страт}} \pm \Delta A_{\text{пот}},$$

де $\Delta A_{\text{пот}}$ – обсяги додаткових ресурсів (резерви).

Очевидною складністю у створенні ефективного стратегічного плану реагування є невизначеність у тому, чи відбуватимуться надзвичайні ситуації техногенного характеру, і якщо вони відбудуться, де і з якою силою.

Аналіз наявних статистичних даних та узагальнення думок експертів з числа практичних фахівців у галузі цивільного захисту уможливив побудову упорядкованого переліку джерел невизначеності перебігу ТНС (рис. 3.2.).

Наведені на рис. 3.2. фактори невизначеності оточуючого середовища мають враховуватися як на стратегічному, так і на оперативному рівнях планування. При цьому в залежності від рівня планування є певні особливості.

Розглянемо рівень стратегічного планування, що проводиться у повсякденному режимі функціонування територіальних підрозділів ДСНС. Особливістю даного етапу планування є значна орієнтованість на досягнутий рівень техногенної безпеки певної території.



Рис. 3.2. Класифікація факторів невизначеності зовнішнього середовища ТНС

Загалом оцінка рівня техногенної безпеки певної території є похідною від рівня техногенної безпеки окремих об'єктів підвищеної небезпеки, до яких відносяться арсенали, склади боєприпасів, що розміщуються на цій території та здійснюють головний внесок у рівень її небезпеки.

В даний час не існує універсального методу оцінки рівня техногенної безпеки таких ОПН [99 – 101]. Така ситуація зумовлена великою кількістю і

різномірністю ОПН, що характеризуються власними множинами властивостей і параметрів, а також небезпечних факторів надзвичайних ситуацій, виникнення яких на ОПН є найбільш вірогідним. Техногенна безпека в цілому – це поняття багатофакторне, воно містить, принаймні, пожежну безпеку, а також хімічну, радіаційну та інші види безпеки.

Таким чином, організаційно-технічний метод формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів та мінімізації її наслідків в якості *першого етапу* включає оцінку рівнів техногенної безпеки і ризику реалізації різних видів небезпеки, що може здійснюватися як в якісних («незначний», «середній», «високий»), так і в кількісних шкалах (безрозмірних або вимірних) залежно від переваг особи, що приймає рішення (ОПР).

Нехай певна територія містить скінчену множину N підприємств – об'єктів підвищеної небезпеки. Кожен ОПН характеризується своїм рівнем техногенної безпеки, \bar{y}_n , $n = 1, 2, \dots, N$. У загальному випадку \bar{y}_n являє собою вектор, компоненти якого, y_n^k , $k = 1, 2, \dots, K_n$, характеризують рівні різних видів техногенної безпеки.

В роботі використовувалась цілочисельна кількісна шкала $[0, 1, \dots, M_{\max}]$, така, що рівень y_n^k безпеки k -го виду n -го ОПН, пов'язаного з рівнем ризику x_n^k співвідношенням

$$x_n^k + y_n^k = M_{n_max}^k.$$

Нехай при цьому відсутність k -го виду небезпеки на ОПН означає:

$$y_n^k = M_{n_max}^k.$$

Тоді скалярна оцінка y_n загального рівня техногенної безпеки ОПН представляється як:

$$y_n = \min_{k=1,2,\dots,K_n} y_n^k. \quad (3.2)$$

Таким чином, використання скалярної оцінки рівнів y_n , $n = 1, 2, \dots, N$ техногенної безпеки множини ОПН території, що розглядається, дозволяє побудувати інтегральну оцінку техногенної безпеки у вигляді адитивної функції

$$Y = \sum_{n=1}^N \lambda_n y_n, \quad (3.3)$$

де $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$ – вектор оцінок значущості кожного з N ОПН території,

$$\lambda_n \geq 0, \quad \sum_{n=1}^N \lambda_n = 1.$$

Відзначимо, що в залежності від переваг ОПР коефіцієнти $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$ можуть відображати рівень потенційної техногенної небезпеки для території і людини відповідно до класифікації ОПН.

3.2 Алгоритм розв’язання оптимізаційної задачі підвищення рівня техногенної безпеки території

Підвищення рівня техногенної безпеки певної території можливе за відповідного ресурсного забезпечення, тобто наявності достатньої кількості фінансових, інформаційних, матеріальних та інших видів ресурсів.

Спрощуючи подання задачі, вважатимемо, що є наявною вартісна оцінка цих ресурсів, тобто один ресурс – фінанси, що є еквівалентним виміром інших видів ресурсів. Планування бюджету територіальних підсистем ДСНС, бюджету міста та області визначаються таким чином, що

період планування складає один рік, тобто задача допускає дискретизацію за часом.

Розглянемо часовий інтервал $[t, (t+1)]$ та припустимо, що протягом періоду часу $[t, (t+1)]$ підвищення техногенної безпеки n -го ОПН може здійснюватися не більше, ніж на один рівень.

Тоді можна сформулювати наступну оптимізаційну задачу:

необхідно визначити регламент оптимального підвищення рівня Y (3.3) протягом періоду часу $[t, (t+1)]$, враховуючи обмеження на величину фінансового ресурсу.

Відзначимо також такі особливості розглянутої задачі, що впливають з аналізу практичної діяльності територіальних підрозділів ДСНС.

Початкові рівні безпеки різних ОПН можуть бути різними:

- витрати на підвищення рівня безпеки n -го ОПН з величини $y_n = i$ до значення $y_n = j$ в період t складають $S_n^{ij}(t)$ одиниць;

- витрати $C_n^i(t)$ на підтримку досягнутого рівня $y_n = i$ безпеки ОПН не є постійними як в силу необхідності врахування інфляційних процесів, так і в силу амортизаційних витрат, необхідних для компенсації фізичного та морального зносу основних фондів підприємств і територіальної підсистеми ДСНС.

- загальна сума витрат на підвищення рівня безпеки в цілому за регіоном для кожного періоду t обмежена величиною $Z_t^{\text{доп}}$.

У загальному випадку, індекс інфляції являє собою вектор $r = \{r_1, \dots, r_T\}$. У даному дослідженні покладемо індекс інфляції $r = 10\%$ у середньорічному обчисленні.

Витрати $S_n(t)$ та $C_n^i(t)$ є векторами.

Тоді дискретна оптимізаційна задача підвищення рівня техногенної безпеки на часовому інтервалі $[t, (t+1)]$ приймає вигляд:

$$x^* = \arg \max_{x \in D_t} F(x) = \arg \max_{x \in D_t} \sum_{n=1}^{N_t} \lambda_n (y_n^t + x_n), \quad (3.4)$$

область допустимих рішень D_t задається обмеженнями

$$\sum_n^{N_t} \{(1 - x_n) C_n^{y_n^t}(t) + x_n S_n^{y_n^t}(y_n^{t+1})(t)\} \leq Z_t^{\text{доп}}, \quad (3.5)$$

$$x_n \in \{0, 1\}, \quad n = 1, 2, \dots, N_t. \quad (3.6)$$

де N_t – кількість компонент вектору y , що задовольняють нерівності

$$y_n \leq M_{\max}.$$

Якщо для деякого індексу n $y_n^{t+1} = M_{\max}$, то $N_{t+1} = N_t - 1$. Цей факт означає, що підприємство n досягло заданого рівня безпеки, тому на наступних етапах рішення для n -го ОПН враховуються лише витрати $C_n^i(t)$.

Чисельна реалізація представленої математичної моделі (3.4 – 3.6) виконана в програмному середовищі MS Excel за допомогою надбудови *Пошук рішення*.

Даний чисельний експеримент є таким. Нехай на розглянутій території є чотири ОПН ($N = 4$). Нехай також виділені 3 рівня безпеки. Початкові рівні техногенної безпеки розглянутої множини ОПН задаються вектором $y_0 = \{1, 1, 2, 3\}$. Пріоритети значущості підприємств, задані ОПР, мають вигляд: $\lambda = \{0,3; 0,2; 0,2; 0,3\}$.

Покладемо, що прогнозовані витрати за цей період в умовних грошових одиницях (млн. грн.) виражаються величиною: $Z^{\text{доп}} = \{550\}$.

Індекс інфляції r покладемо 10% у середньорічному обчисленні. Вектори $S_n(t_1)$, $C_n(t_1)$, $n=1, \dots, N$, в період часу, що розглядається, представлені на

рис. 3.3.

Період	$[t, (t+1)]$				
Кількість ПНО	4				
Оцінки значущості ПНО	0,3	0,2	0,2	0,3	
Досягнутий рівень безпеки	1	1	2	3	
Витрати на підвищення рівня безпеки					
$S_n(t)$	500	550	450	400	
Витрати на підтримку рівня безпеки					
$C_n^i(t)$	200	300	200	300	
Граничні витрати $Z_{доп}$	550				

	x1	x2	x3	x4	
Змінні задачі	1	0	0	1	
Функція мети					2,4
Обмеження	300	250	250	100	
	300	0	0	100	$400 \leq$
					550

Рис. 3.3. Розв'язання задачі оцінки рівня техногенної безпеки території

Початковий рівень Y_0 техногенної безпеки регіону оцінюється величиною $Y_0 = 1,8$.

У результаті параметричної ідентифікації математичної моделі (3.4) – (3.6) отримуємо наступну реалізацію:

$$\text{знайти } x^* = \arg \max_{x \in D_1} \{0,3x_1 + 0,2x_2 + 0,2x_3 + 0,3x_4 + 1,8\}$$

при обмеженнях на область припустимих значень D_1

$$300x_1 + 250x_2 + 250x_3 + 100x_4 \leq 550,$$

$$x_n \in \{0,1\}, y_n^t \leq M_{\max}.$$

Розв'язок задачі, отриманий засобом *Пошук рішення MS Excel*: вектор $x^* = (1,0,0,1)$, відповідне значення функції мети $F(x)=2,4$ (рис. 3.3.).

Отже, вектор $y_1 = \{2, 1, 2, 4\}$. Це означає, що 4-й ОПН виведений на заданий рівень безпеки, і розмірність задачі зменшується на 1, тобто $N_2 = 3$.

3.3 Формалізація складових ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру із застосуванням нечіткомножинного підходу

Очевидно, структурна ідентифікація оператора F в (2.8) ускладнюється як нечітким (не детермінованим) механізмом виведення, так і об'єктивно нечіткою природою характеристик P – множини властивостей можливої ТНС і оточуючого середовища.

Таким чином, виникає необхідність залучення та формалізації знань експертів з надзвичайних ситуацій техногенного характеру на всіх етапах перебігу ТНС. Зазначимо також, що ОПР має оперувати з великими обсягами як кількісної, так і якісної інформації. На цей час арсенал інструментальних засобів обробки інформації такого виду містить значну кількість різноманітних підходів, таких як інтервальні обчислення, м'які обчислення тощо.

Проведений аналіз сучасних методик у контексті наявних характеристик реальних систем і процесів функціонування ТП ДСНС дозволив здійснити вибір на користь побудови та реалізації підходу щодо

оцінки обсягів ресурсного забезпечення ліквідації ТНС із застосуванням апарату нечітких множин і нечіткої логіки [102].

Формалізація інформації про характеристики надзвичайної ситуації.

При побудові моделі процесу ресурсного забезпечення ТНС із застосуванням нечіткомножинного підходу і апарату нечіткої логіки всі вхідні (множина характеристик ТНС та особливостей локації її виникнення) і вихідні (множина рівнів ресурсного забезпечення процесу локалізації і ліквідації ТНС) змінні задаються як лінгвістичні [103]. Загалом лінгвістична змінна включає її ім'я P , а також множину допустимих значень або терм-множину T , кожний елемент t якої (терм) є нечіткою множиною з функцією приналежності $\mu_t(x)$, заданій на універсальній множині U , $x \in U$. Значення $\mu_t(x)$ задають ступінь приналежності елементу x множині t : $\mu_t(x) \rightarrow [0,1]$. Крім того, визначається множина певних синтаксичних правил G , за якими формуються назви термів, та семантичні правила M , що задають функції приналежності нечітких термів, породжених синтаксичними правилами G .

В роботі визначені групи властивостей $P_k \supset P$, $k=1,2,\dots,K$, $\text{card}(P) = \sum_{k=1}^K \text{card}P_k$, $P_k = \{p_{ki}\}$, $i=1,2,\dots,I_k$, що характеризують різні аспекти ТНС та оточуючого середовища, сформовані вхідні змінні (терм-множини), терми та їх опис. Чинники P_k – це групи властивостей власне ТНС та оточуючого середовища, які впливають на визначення рівнів ресурсного забезпечення процесу локалізації та ліквідації наслідків ТНС.

Терми означають рівень реалізації чинника, що задається відповідною вхідною змінною. Даний опис виконаний у відповідності із Класифікатором надзвичайних ситуацій ДК 019:2010 [35]. Групи вхідних змінних P_k , що описують зону ТНС, є такими:

{ P_1 – Тип ТНС; P_2 – Метричні характеристики зони ТНС; P_3 – Тип забруднення Інгридієнтне (Хімічне); P_4 – Тип забруднення Параметричне (Фізичне); P_5 – Тип забруднення Біоценотичне; P_6 – Характеристики забудови зони ТНС; P_7 – Параметри транспортної

інфраструктури; P_8 – Характеристики населення; P_9 – Природно-ланшафтні властивості; P_{10} – Рівень техногенної безпеки регіону; P_{11} – Наслідки ТНС.}

Фрагмент формалізації груп властивостей надано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Вхідні дані в нечіткій нотації

Позначення чиннику	Терм-множина	Терми t_{ki}	Опис
P_1 – Тип ТНС			
p_{11}	Хімічна	[0,1] [1,1;2] [2,1;3]	Місцевий рівень ТНС Регіональний рівень ТНС Державний рівень ТНС
...
P_2 – метричні характеристики зони ТНС			
p_{21}	Площа зони ТНС	[0;100] [101;500] [500; ∞]	Мала Середня Велика
...
P_3 – Тип забруднення Інгридієнтне (Хімічне)			
p_{31}	Забруднення повітря: хлор	[0;100] [101;500] [500; ∞]	Припустима домішка Гранично припустима концентрація Токсична концентрація
...

При визначенні значень термів частину терм-множин сформовано на основі нормативних документів та довідкової інформації. Інша частина терм-множин визначалась на основі обробки результатів експертних опитувань. Крім того, з метою визначення основних типів $W = \{w_1, \dots, w_S\}$ техногенної небезпеки, характерних для регіонів України, був проведений аналіз кількості і масштабів техногенних аварій за останні роки, а також об'єктів підвищеної небезпеки [104]. В процесі фазифікації вхідних змінних p_{ki} – семантичної процедури, що формує нечіткі множини для кожного терма t_{ki}

даної лінгвістичної змінної, отримано функції μ_{t_p} приналежності значень лінгвістичної змінної. В даному дослідженні обрано трапецієвидну форму функцій приналежності. Крім того, за допомогою конструкцій « $r_{ki} \in t_{ki}$ » будуються нечіткі лінгвістичні висловлення.

Формалізація інформації про рівні ресурсного забезпечення.

Прийmemo таке базове припущення щодо типів ресурсів: типи ресурсного забезпечення вважаються незалежними і не взаємозамінними.

За такого припущення інформація $A = \{\Omega, R\}$ про рівні ресурсного забезпечення ліквідації ТНС є масивом (матрицею) лінгвістичних змінних. Це означає, що вимірність простору рішень, в якому будується логіко-лінгвістична система, оцінюється величиною добутка $\text{card}(A) \times \text{card}(P)$. Далі використовуватимемо спрощений варіант моделі логіко-лінгвістичної системи, відомий як нечітке виведення, що передбачає визначення однієї вихідної лінгвістичної змінної (в термінах поставленої задачі – одного виду ресурсного забезпечення). Такий підхід повністю узгоджений із суттю припущення щодо типів ресурсів та визначає ітераційний характер процесу розв'язання задачі оцінки обсягів ресурсного забезпечення ліквідації наслідків ТНС в цілому.

Формалізацію рівнів ресурсного забезпечення можна здійснювати як в абсолютному так і у відносному вимірах. В роботі проводиться аналіз та побудова підходу до відносного рівню ресурсного забезпечення ліквідації наслідків ТНС. Елементи множини ресурсів $A = \{\Omega, R\}$ мають різну розмірність, обсяги, термін використання тощо.

Розглянемо наступну класифікацію ресурсів:

$$A = A_{\text{просторове}} \cup A_{\text{населення}}.$$

Рівні забезпечення $\{a^{qj}\}$, $j=1,2,\dots,J_q$, ресурсів першої групи, що є нечіткими множинами вигляду $A_{\text{просторове}}^q$, $q=1,2,\dots,Q_1$, які нормалізуються щодо площі зони ТНС/зони наслідків ТНС.

Рівні забезпечення $\{a^{qj}\}$, ресурсів другої групи – нечіткі множини вигляду $A_{\text{населення}}^q$, $q=1,2,\dots,Q_2$, $Q_1 + Q_2 = \mathcal{L}$, нормалізуються щодо кількості населення в зоні ТНС/зоні наслідків ТНС.

На основі проведеної формалізації нечітких множин вхідних та вихідних змінних задачі побудовано нечітку базу знань, яка містить сукупність висловлювань вигляду

$$\bigcup_{k=1}^K \bigcup_{i=1}^{I_k} \left(\bigcap_{l=1}^{L_{ki}} (p_{ki} = t_{ki}^l) \right) \rightarrow (y^q = a^{qj}), j=1,2,\dots,J_q, q=1,2,\dots, \mathcal{L},$$

де $\{a^{qj}\}$, $j=1,2,\dots,J_q$ – можливі значення рівнів ресурсного забезпечення, що є основою застосування композиційного правила виведення [105].

Нечітке логічне виведення дозволяє за допомогою нечіткої бази знань та операцій над нечіткими множинами побудувати апроксимацію залежності $A_i = F(P_1, P_2, \dots, P_{11})$ необхідних обсягів ресурсного забезпечення на стратегічному рівні з урахуванням рівня небезпеки, тобто поточного рівня техногенної безпеки як функції множини властивостей P можливої ТНС і оточуючого середовища.

3.4 Розробка управляючого алгоритму формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на основі сценарного підходу

На *першому етапі* організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на ТНС та мінімізації її наслідків визначено оцінку рівня техногенної безпеки певної території і ризику реалізації різних видів небезпек. Для вирішення задач *другого етапу* організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на ТНС найбільш прийнятним є сценарний підхід. В рамках

сценарного підходу визначаються можливі алгоритми дій ТП ДСНС з реагування на надзвичайні ситуації та відповідні обсяги ресурсного забезпечення оперативно-рятувальних робіт.

Побудова апаратно-програмного комплексу ґрунтується на наступних теоретичних концепціях сценарного підходу до визначення трендів розвитку складної ієрархічної системи, до якої належить система цивільного захисту.

В роботі [106] класифіковано типи та характеристики сценаріїв розвитку складної ієрархічної системи та методів сценарного прогнозування. Загалом розрізняють пошукові (або генетичні) та нормативні (програмно-цільові) сценарії.

Пошуковий сценарій описує, виходячи з існуючої ситуації, стан системи і домінуючі тенденції її трансформації, послідовність подій, які логічно призводять до можливого майбутнього стану системи. Нормативний вид сценарію орієнтований на визначення шляхів досягнення майбутніх бажаних станів об'єкта дослідження, які в даному випадку приймаються в якості цілей.

В якості основних методів сценарного прогнозування виділені:

- дедуктивний (від загальних альтернатив до часткових сценаріїв), заснований на аналізі чинників, що впливають на поведінку об'єкта прогнозування;
- індуктивний (від конкретних ситуацій і дій – до сценаріїв), заснований на покроковому аналізі поведінки в рамках певної ситуації.

Обидва методи дозволяють вирішувати обидва типи прогнозованих завдань: побудову нормативного чи пошукового прогнозу.

Методологію побудови сценаріїв розвитку складних ієрархічних систем представлено у роботі [107]. Запропонована методологія складається із дев'яти кроків, для кожного з яких описано методи, характер вхідної та вихідної інформації, практичні рекомендації. Описано процедури отримання від експертів інформації щодо ключових змінних системи, рушійних сил, що впливають на неї, майбутніх станів рушійних сил та їх взаємоузгодженості.

Для вибору ключових змінних системи пропонується підхід на основі SWOT-аналізу; для генерації множини сценаріїв – використовувати морфологічний аналіз. Побудований із використанням морфологічного аналізу сценарний простір скорочується в результаті аналізу взаємоузгодженості станів рушійних сил [107].

На основі проведеного дослідження наявних підходів до створення сценарію розвитку НС в рамках реалізації організаційно-технічного методу, що розглядається, з урахуванням ступеню складності і ймовірнісного характеру зміни параметрів НС та зовнішнього середовища визначено, що в даному випадку найбільш прийнятним є формалізований підхід, що включає як якісні судження експертів (див. п.п. 2.2.3), так і елементи математичного моделювання, що містять аналітичний опис множин вхідних та вихідних параметрів та необхідний функціонал.

Наведений вище стислий огляд основних теоретичних концепцій сценарного підходу до визначення трендів розвитку складної ієрархічної системи, до якої належить система цивільного захисту, та методів сценарного прогнозування дозволив побудувати загальну схему реалізації формалізованого сценарію при стратегічному плануванні ресурсного забезпечення ТНС (рис. 2.5).

Формалізований сценарій реагування на ТНС загалом містить множини задач, серед яких однією з найважливіших є ресурсне забезпечення процесу ліквідації ТНС, яка, звичайно, розглядається сумісно із задачею оптимізації транспортних потоків.

Таким чином, виникає задача побудови апаратно-програмного комплексу реалізації формалізованого сценарію процесу ліквідації ймовірної НС, що оперує з набором фізичних, геометричних та інших видів даних (рис. 3.4), можливі характеристики зони можливого ураження і наявні ресурси ТП ДСНС.

При цьому необхідно зважати також на тип території (міська забудова, сільська місцевість тощо), що може підвищити вплив небезпечних факторів

надзвичайної ситуації.

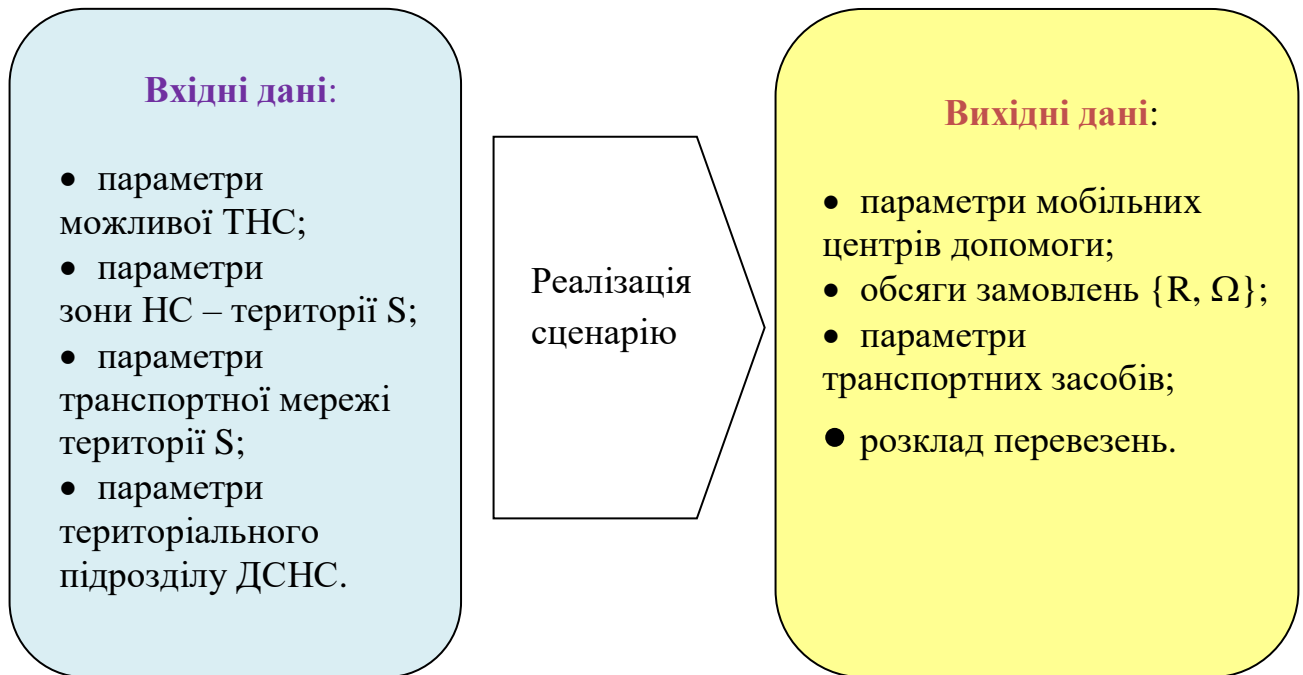


Рис. 3.4. Схема реалізації формалізованого сценарію реалізації організаційно-технічного методу ресурсного забезпечення реагування на ТНС

Відмітимо також, що у зв'язку із вирішенням задачі стратегічного планування наявних ресурсів ТП ДСНС щодо ліквідації можливої ТНС та мінімізації її наслідків, задачу управління ієрархічними ланцюгами поставок у НС необхідно також розглядати з точки зору сприйняття діяльності служб порятунку громадськістю.

Очікувана мінімізація витрат може призвести до неприйнятної високого дефіциту сценаріїв з невеликими ймовірностями, який важко переноситься суспільством, про що наголошується в роботі [108]. Автори публікації розглядають мінімаксий критерій втрат для зменшення втрат за найгіршим сценарієм розвитку, що може бути застосований до рішення про попереднє позиціонування сил порятунку. Визначено, що ця альтернатива є суспільно прийнятною, але призведе до високої вартості попереднього

розміщення та великої кількості невикористаних ресурсів, оскільки над рішенням буде домінувати несприятливий сценарій з дуже низькими шансами.

Таким чином, на другому етапі організаційно-технічного методу ресурсного забезпечення реагування на ТНС в рамках реалізації сценарного підходу передбачається побудова низки сценаріїв розвитку ТНС в залежності від параметрів можливої ТНС, параметрів зони ТНС – території S , параметрів транспортної мережі території S , параметрів ресурсного забезпечення територіального підрозділу ДСНС.

При цьому невизначеність в завданні вхідних параметрів (рис. 3.2) опрацьовується на основі нечітко-множинного підходу і кожен сценарій є детермінованою реалізацією.

3.5 Опис процедури алгоритмічної реалізації організаційно-технічного методу ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів

Розглянемо алгоритмічну реалізацію детермінованої складової організаційно-технічного методу ресурсного забезпечення реагування на ТНС, а саме багатокритеріальної оптимізаційної задачі ресурсного забезпечення, розробленої в п. 2.2.

Наведемо алгоритм розв'язання задачі визначення параметрів оптимального розміщення множини мобільних центрів допомоги на дискретній множині припустимих значень.

Математична модель задачі визначення параметрів оптимального розміщення множини мобільних центрів допомоги на дискретній множині припустимих значень (задача 2.1 на рис. 2.5), як задачі розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками, побудована в п. 2.2.4, є задачею (2.18 – 2.23).

Алгоритм розв'язання задачі (2.18 – 2.23), оснований на стратегії

послідовно-поодинокого розміщення. Підготовчий етап реалізації даної стратегії є таким:

I. Завдання переставлення номерів населених пунктів: $\wp_h, h=1,2,\dots, N$, які є можливими місцями розміщення МЦД. Упорядкування проводиться проти годинникової стрілки, починаючи, наприклад, із південно-західного пункту.

В подальшому населені пункти $\wp_h, h=1,2,\dots, N$ перебираються в заданій послідовності.

II. Визначення місця розташування m -го МЦД із зоною впливу C_m .

Оцінка потужності P_m m -го МЦД при розміщенні у пункті \wp_h : P_{mh} .

За визначенням потужність P_{mh} , визначальна для завдання метричних характеристик об'єкту C_m , є вектором оцінок відстаней до найвіддаленішого населеного пункту території S , яку за регламентом можна віднести до зони впливу МЦД, що розглядається.

Вважаємо, що компоненти вектора P_m упорядковані проти годинникової стрілки.

Нехай час доставки вантажів і час евакуації потерпілих визначаються параметрами t_d та t_e відповідно. Параметри t_d та t_e можуть визначатися як особою, що приймає рішення (ОПР) – керівником рятувальної операції, так і нормативними документами. Більш того, при реалізації сценарного підходу величини t_d та t_e можуть приймати різні значення для різних сценаріїв.

Покладемо також V_d та V_e – середня швидкість ТЗ, що доставляють вантажі та приймають участь в евакуації потерпілих відповідно.

З іншого боку визначення компонент вектора P_m залежить від наявності та поточного стану автомобільних доріг на території, що розглядається.

Припустимо в ідеальному випадку якість автомобільних доріг задовільною. Загалом якість автомобільних доріг може бути врахованою через середню швидкість V_d, V_e .

Припущення 3.1. Форма C_m визначається за мережею автомобільних доріг, що проходять через поточний населений пункт \wp_h . Нехай є Q таких

напрямів.

Тоді оцінка компонент вектора P_{mh} є ітераційною задачею вигляду:

$$(x_{mh}^q, y_{mh}^q) = \arg \max_{i \in I^-} d_{hiq}, \quad q = 1, 2, \dots, Q,$$

де d_{hiq} – відстань між пунктами φ_h та φ_i , виміряна за даними та засобами Google Maps;

I^- – множина індексів об'єктів φ_i , що є не охопленими певною зоною впливу, причому:

$$I^- \cup I^+ = I,$$

де I^+ – множина індексів об'єктів φ_i , що є охопленими зонами S_m на попередніх ітераціях.

Формування множини індексів I^m об'єктів φ_i , що є охопленими зоною S_m впливу m -го МЦД.

Критерій останову алгоритму: якщо $I^+ = I$ – розв'язок знайдений.

Припущення 3.2. Якщо $I^+ \neq I$, а перелік $\varphi_h, h=1, 2, \dots, H$, є вичерпаним, необхідно збільшення допустимих величин часу доставки вантажів і евакуації потерпілих t_d та t_e .

Розглянемо алгоритм розв'язання задачі визначення множини оптимальних шляхів транспортування ресурсів.

Алгоритм розв'язання задачі визначення множини оптимальних шляхів транспортування ресурсів (Задача 2.2 на декомпозиції задач, представлених рис. 2.5.) орієнтований на використання множини критеріїв ефективності функціонування логістичної системи територіальної СЦЗ (2.10, 2.11, 2.13).

Вихідними даними для побудови алгоритму є формована на етапі розв'язання задачі визначення параметрів оптимального розміщення множини мобільних центрів допомоги на дискретній множині припустимих значень

множина індексів I^m об'єктів φ_i , що є охопленими зоною C_m впливу m -го МЦД.

Задача 2, що загалом розглядається, є багатокритеріальною, тому в дисертаційному дослідженні використано комбінацію відомих підходів до зведення багатокритеріальної оптимізаційної задачі до однокритеріальної: декомпозицію задачі на задачі більш простої структури, а також метод головного критерію [123].

При моделюванні задачі 2.1 (рис. 2.5.) обрано критерій (2.10), при моделюванні задачі 2.2 в якості головного критерію обираємо критерій (2.15), а критерій (2.13), форма якого в розгорнутому вигляді подана співвідношенням (2.12), визначається як додаткове обмеження оптимізаційної задачі.

Припущення 3.3. Задача визначення множини оптимальних шляхів транспортування ресурсів розв'язується на кожній з множин C_m окремо (незалежно).

Припущення 3.4. Один і той же транспортний засіб може застосовуватися як для доставки вантажів, так і для евакуації постраждалого населення.

Припущення 3.5. Центр розподіляє ресурси між МЦД згідно з кількістю I^m об'єктів φ_i , що є охопленими зоною C_m впливу m -го МЦД.

Таким чином, m -та ітерація даного алгоритму включає наступні кроки:

1. Визначення пріоритетів надання допомоги населеним пунктам зони C_m впливу m -го МЦД:

$$\{\varphi_1, \dots, \varphi_{I^m}\} \subset C_m, \quad m = 1, 2, \dots, M.$$

що задають послідовність надання допомоги.

Одним з підходів визначення пріоритетів є оцінка близькості населеного пункту до епіцентру ТНС.

2. Побудова раціональних маршрутів доставки вантажів на наявній

транспортній мережі.

Основна ідея алгоритму задачі визначення множини оптимальних шляхів транспортування ресурсів полягає в тому, що локації доставки вантажів та евакуації постраждалих – пункти призначення – послідовно включаються в маршрут, причому кожний наступний пункт, що включається, обирається таким чином, щоб він був найближчим до останнього вже включеного серед усіх пунктів, але ще не включених в маршрут.

При цьому враховується час та ресурси на транспортування у зворотньому напрямку до розташування МЦД.

Таким чином, алгоритмічно реалізовано оптимізаційну модель ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів.

Висновки до розділу 3

1. Визначено оцінку рівня техногенної безпеки території потенційної надзвичайної ситуації техногенного характеру з урахуванням невизначеності місця, часу та рівня надзвичайної ситуації на основі аналізу наявних статистичних даних та узагальнення думок експертів з числа практичних фахівців у галузі цивільного захисту. Проведено аналіз якісної та кількісної шкал оцінювання, що пов'язують рівень техногенної безпеки та ризик реалізації різних видів небезпеки.

2. Наведено розв'язання оптимізаційної задачі підвищення рівня техногенної безпеки території як необхідної складової процесу визначення оптимальних обсягів ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру. В якості горизонту планування визначено один рік. Розглянуті особливості задачі, що впливають з аналізу практичної діяльності територіальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Представлена чисельна реалізація побудованої

оптимізаційної задачі підвищення рівня техногенної безпеки території.

3. При створенні організаційно-технічного методу ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів проведено формалізацію складових ресурсного забезпечення із застосуванням нечіткомножинного підходу, а саме формалізовано інформацію про характеристики таких надзвичайних ситуацій, а також інформацію про рівні ресурсного забезпечення на основі реалізації підходу до визначення відносних рівней ресурсного забезпечення з реагування на надзвичайні ситуації.

4. Розроблено управляючий алгоритм формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на основі сценарного підходу, що є складовою організаційно-технічного методу розв'язання оптимізаційної задачі ресурсного забезпечення етапів реагування на надзвичайні ситуації, що розглядаються. В рамках сценарного підходу визначені можливі алгоритми дії територіальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій з ліквідації надзвичайної ситуації та відповідні обсяги ресурсного забезпечення оперативно-рятувальних робіт. При цьому невизначеність в завданні вхідних параметрів сценарію опрацьовується із застосуванням нечітко-множинного підходу, і кожен сценарій є детермінованою реалізацією на основі оптимізаційної моделі ресурсного забезпечення.

5. Наведено опис процедури алгоритмічної реалізації детермінованої складової організаційно-технічного методу ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Для цього розроблено алгоритм розв'язання задачі визначення параметрів оптимального розміщення множини мобільних центрів допомоги на дискретній множині припустимих значень, а також алгоритм розв'язання задачі визначення

множини оптимальних шляхів транспортування ресурсів. Для побудови останнього в якості екзогенних параметрів виступають вихідні дані першого алгоритму.

РОЗДІЛ 4

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ВНАСЛІДОК ВИБУХІВ БОЄПРИПАСІВ

В розділі розглянуті технічні, методологічні, програмні та організаційні характеристики сценарного підходу до побудови прогнозних моделей ресурсного забезпечення ліквідації НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів. Визначено залежність ефективності проведення рятувальних операцій від стану транспортної мережі зони ТНС.

Запропоновано методикку прогнозування обсягів ресурсного забезпечення процесу локалізації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів.

Наведено структурну схему прогнозної моделі обсягів ресурсного забезпечення процесу ліквідації НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, та мінімізації їх наслідків.

Побудовано апаратно-програмний комплекс визначення множини сценаріїв розвитку потенційної надзвичайної ситуації, що уможливиює створення інформаційного середовища прийняття ефективного управлінського рішення щодо плану реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів.

Визначені характеристики та параметри розподілу вхідних даних, наведені результати чисельних експериментів щодо побудови множини сценаріїв на прикладі НС внаслідок вибухів на складах боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 року та у с. Новобогданівка Запорізької області 06 травня 2004 р.

Основні результати розділу викладені в публікаціях [16, 17, 23, 29, 30].

4.1 Розробка пропозицій щодо інформаційного забезпечення реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації

Номенклатура та обсяг задач ресурсного забезпечення ліквідації масштабних ТНС визначають необхідність розробки відповідного інформаційно-аналітичного забезпечення [125], узгодженого із концепцією ДСНС. Складовими такої системи виступають інформаційно-аналітичні системи центральних та місцевих органів виконавчої влади (див. рис. 2.2.), а також інформаційні служби територіальних підрозділів ДСНС із залученням засобів зв'язку і передачі даних [126].

Технічні та організаційні характеристики та діапазони застосування спеціалізованих апаратно-програмних засобів з протидії поширення відповідних НС розглянуті в роботі [127].

У зв'язку з цим першорядного значення набуває проблема гармонізації регламенту дії ДСНС з європейськими стандартами у сфері цивільного захисту [128], а також зазначають необхідність узагальнення міжнародного досвіду створення та функціонування систем державного управління в умовах НС, а саме в прогнозуванні НС різного типу, запобіганні їх виникненню і реагування на НС.

Цей напрям діяльності має включати узгодження методичного, математичного, інформаційного, програмного забезпечення, протоколів передачі, регламентів зберігання та опрацювання критичної інформації [129].

Зауваження 4.1. У багатьох випадках під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру та мінімізації її наслідків на етапі тактичного (оперативного) планування виникає задача адаптації структури графової моделі G (див. пп. 2.3.) системи цивільного захисту до умов ТНС, яка відбулась.

Це стосується кількості та потужності пересувних пунктів управління, мобільних центрів допомоги, мобільних шпиталів, розгортання польових

штабів тощо, тобто додавання (або вилучення) нових (тимчасових) вершин до графу G , які не є ізольованими.

Зміна структури логістичного ланцюга може також бути викликана і факторами невизначеності зовнішнього середовища, які наведено на рис. 3.2.

Узагальнено опис географічних особливостей та груп характеристик зони можливої НС внаслідок вибухів боєприпасів, що подано в підрозділі 3.3. Це такі властивості, як: P_6 – Характеристики забудови зони ТНС; P_7 – Параметри транспортної інфраструктури; P_8 – Характеристики населення; P_9 – Природно-ланшафтні властивості (див. табл. 3.1).

Аналіз характеристики P_9 – Природно-ланшафтні властивості – показав, що арсенали та склади боєприпасів розміщуються на територіях з рівнинним рельєфом. Зважаючи на це окремим питанням є характеристика транспортної мережі.

Транспортна мережа територій складається в основному із автомобільних шляхів різної якості. Якість доріг залишається важливим фактором для побудови сценарію реалізації прогностичної моделі процесу ліквідації ТНС. Відмітимо тільки, що міністр інфраструктури України в 2016-2019 рр. Володимир Омелян зазначав, що «97% українських доріг залишаються в непридатному стані». Також він заявив, що «з існуючих в Україні 17 тис. мостів близько 9 тис. знаходяться в аварійному стані, а 4 тис. потребують негайного ремонту. В цьому році ми плануємо відремонтувати лише 80 мостів. Але нами було обстежено лише 35 % від загальної кількості мостів і ця робота ще триває» [130 – 131].

У рейтингу якості автомобільних доріг в країнах світу, що складається Всесвітнім економічним форумом, Україна в 2018 році займала 123-є місце з 140 можливих. Серед країн Європи, Україна посіла передостаннє місце, випередивши лише Молдову [132].

Загалом автомобільні дороги України загального користування поділяються:

- дороги державного значення (міжнародні, національні та

регіональні дороги);

- дороги місцевого значення (територіальні, обласні та районні дороги).

- міжнародні дороги «Е». Займають близько 5% всіх автомобільних доріг України;
- національні дороги «Н» – 3% від загальної кількості доріг;
- регіональні дороги «Р» – 4%;
- дороги місцевого значення України 155,6 тис. км або 91,7% від загальної довжини поділяються на:
 - територіальні – 30,6 тис. км. «Т», це 18% шляхів;
 - районні – загальна протяжність 86,0 тис. км. В середньому на один район припадає 175,5 км районних автомобільних доріг. До районних відносяться 51% доріг України.
 - сільські – 39,2 тис. км. або 18%. В середньому на одне село припадає всього 1,37 км сільських автомобільних доріг, які мають забезпечити життєдіяльність близько 555 його мешканців.

Державне агентство автомобільних доріг України «Укравтодор» з 24 червня 2016 року підтримує Інтерактивну карту ремонту доріг [133]. На ній нанесені усі об'єкти поточного ремонту в реальному часі, загальна вартість будівництва об'єктів, проектно-кошторисної документації, терміни виконання та генеральні підрядники. Дані оновлюються щотижнево. Крім того, є можливість відслідковувати реальний стан ремонтних робіт і доводити їх до відома громадян, переглядати інформацію про завершені ремонтні роботи.

Ще однією важливою характеристикою: P_6 – Характеристики забудови зони ТНС – є значна кількість населених пунктів, що попадають в зону НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів. Узагальнені статистичні дані за ТНС, що сталися, наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Опис параметрів зони надзвичайних ситуацій, пов'язаних з вибухами на арсеналах, складах боєприпасів*

№ з/п	Назва та опис надзвичайної ситуації	Радіус зони надзвичайної ситуації, км	Оцінка кількості населених пунктів в зоні надзвичайної ситуації, од.	Оцінка кількості населення в зоні надзвичайної ситуації, осіб
1	2	3	4	5
1.	Вибухи на артилерійських складах у с. Новобогданівка Запорізької області 6 травня 2004 р.	40	96 населених пунктів, з них: - 72 – з населенням до 5 тис. осіб; - 24 – з населенням більше 5 тис. осіб	від 150 тис. до 170 тис. осіб
2.	Вибухи на артилерійських складах у с. Новобогданівка Запорізької області 19 серпня 2006 р.	19	47 населених пунктів, з них: - 38 – з населенням до 5 тис. осіб; - 9 – з населенням більше 5 тис. осіб	від 37 тис. до 50 тис. осіб

Продовження Табл. 4.1.

1	2	3	4	5
3.	Вибух військового арсеналу у м. Лозова Харківської області 27 серпня 2008 р.	27	55 населених пунктів, з них: - 43 – з населенням до 5 тис. осіб; - 12 – з населенням більше 5 тис. осіб	від 120 тис. до 155 тис. осіб
4.	Вибух на складі боєприпасів у м. Сватове Луганської області 29 жовтня 2015 р.	13	23 населених пунктів, з них: - 16 – з населенням до 5 тис. осіб; - 7 – з населенням більше 5 тис. осіб	від 48 тис. до 70 тис. осіб
5.	Вибух на складі боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р.	45	88 населених пунктів, з них: - 70 – з населенням до 5 тис. осіб; - 18 – з населенням більше 5 тис. осіб	від 190 тис. до 314 тис. осіб
6.	Вибух на складі боєприпасів у с. Калинівка Вінницької області 26 вересня 2017 р.	5	26 населених пунктів, з них: - 20 – з населенням до 5 тис. осіб; - 6 – з населенням більше 5 тис. осіб	від 20 тис. до 29 тис. осіб

*В табл. 4.1. внесені найбільші за упорядкуванням по кількості населення населені пункти.

Наприклад, розглянемо, в якому стані знаходилися автошляхи, розташовані в районі с. Калинівка Вінницької області, де 26 вересня 2017 р. стався вибух на складі боєприпасів. Так, на рис. 4.1. можна бачити, що у зазначений час на автошляху М21 проводилися ремонтні роботи.

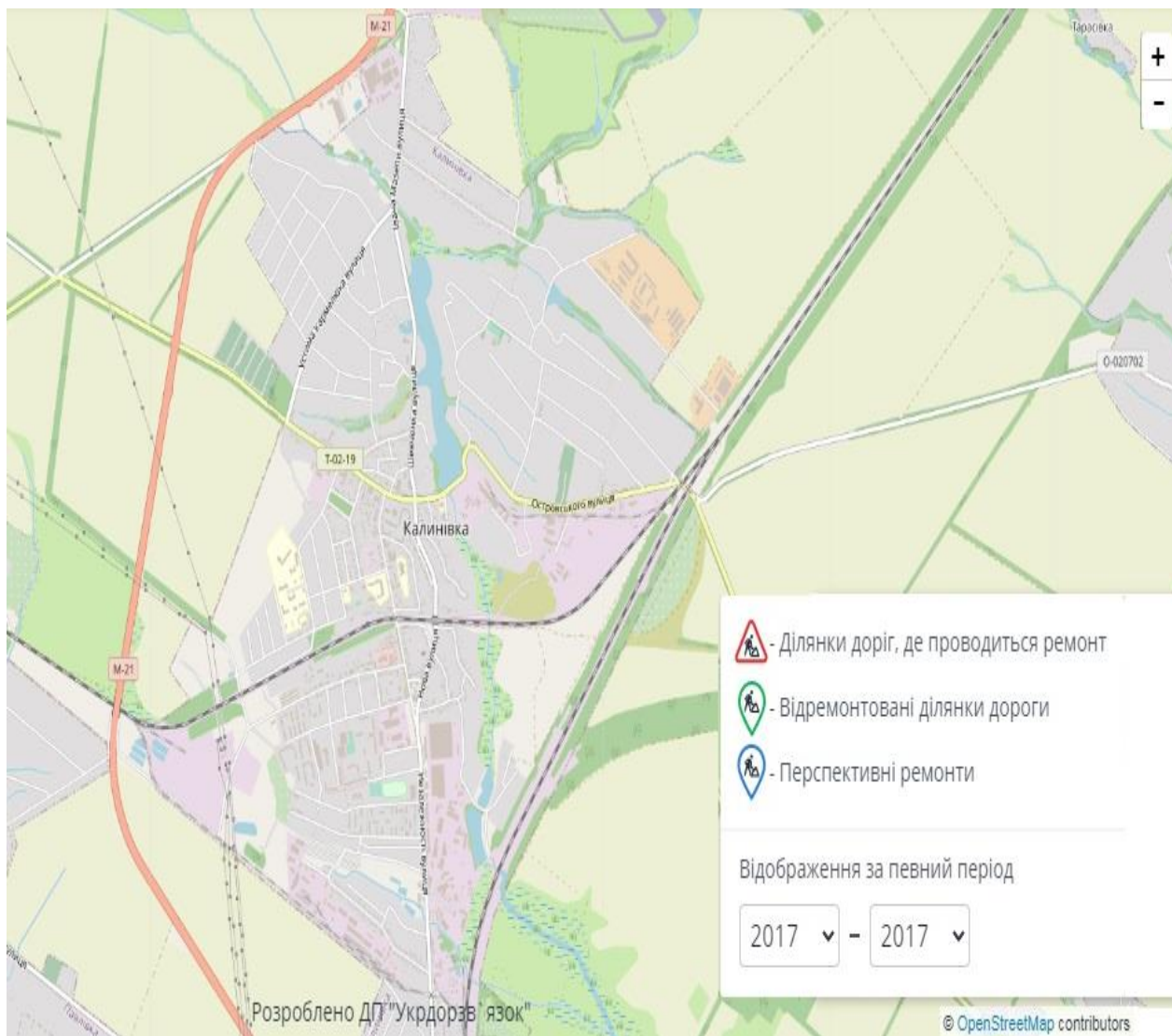


Рис. 4.1. Карта ремонтних робіт в зоні ураження

Укрупнена схема реалізації сценарного підходу до прогнозування обсягів ресурсного забезпечення процесу локалізації та ліквідації наслідків ТНС представлена на рис. 4.2.

Організаційно-технічний метод розв'язання оптимізаційної задачі ресурсного забезпечення етапів реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів містить два основні етапи.

На *першому етапі* організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС визначається оцінка рівня техногенної безпеки території можливої НС, а також рівня ризику реалізації різних видів небезпек.

Методична та чисельна реалізація оцінки рівня техногенної безпеки території можливої НС як першого етапу організаційно-технічного методу докладно розглянута в п. 3.2 дисертаційної роботи.

Зосередимося на другому етапі організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС.

Для вирішення задач *другого етапу* організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС реалізовано сценарний підхід, що визначає можливі алгоритми дій територіального підрозділу ДСНС з ліквідації НС визначеного виду та відповідні обсяги ресурсного забезпечення рятувальних робіт.

Крок 1. Завдання вхідних параметрів реалізації формалізованого сценарію як основи реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на ТНС, що є багатомірною задачею.

Як було зазначено в п. 2.3 (див. рис. 2.6.), вхідними параметрами щодо реалізації сценарного підходу є такі:

1. параметри можливої ТНС;
2. параметри зони надзвичайної ситуації – території S;
3. параметри транспортної мережі території S;
4. параметри територіального підрозділу ДСНС.

Результатом моделювання є параметри мобільних центрів допомоги, обсяги потреб в ресурсах, параметри транспортних засобів, розклад перевезень.

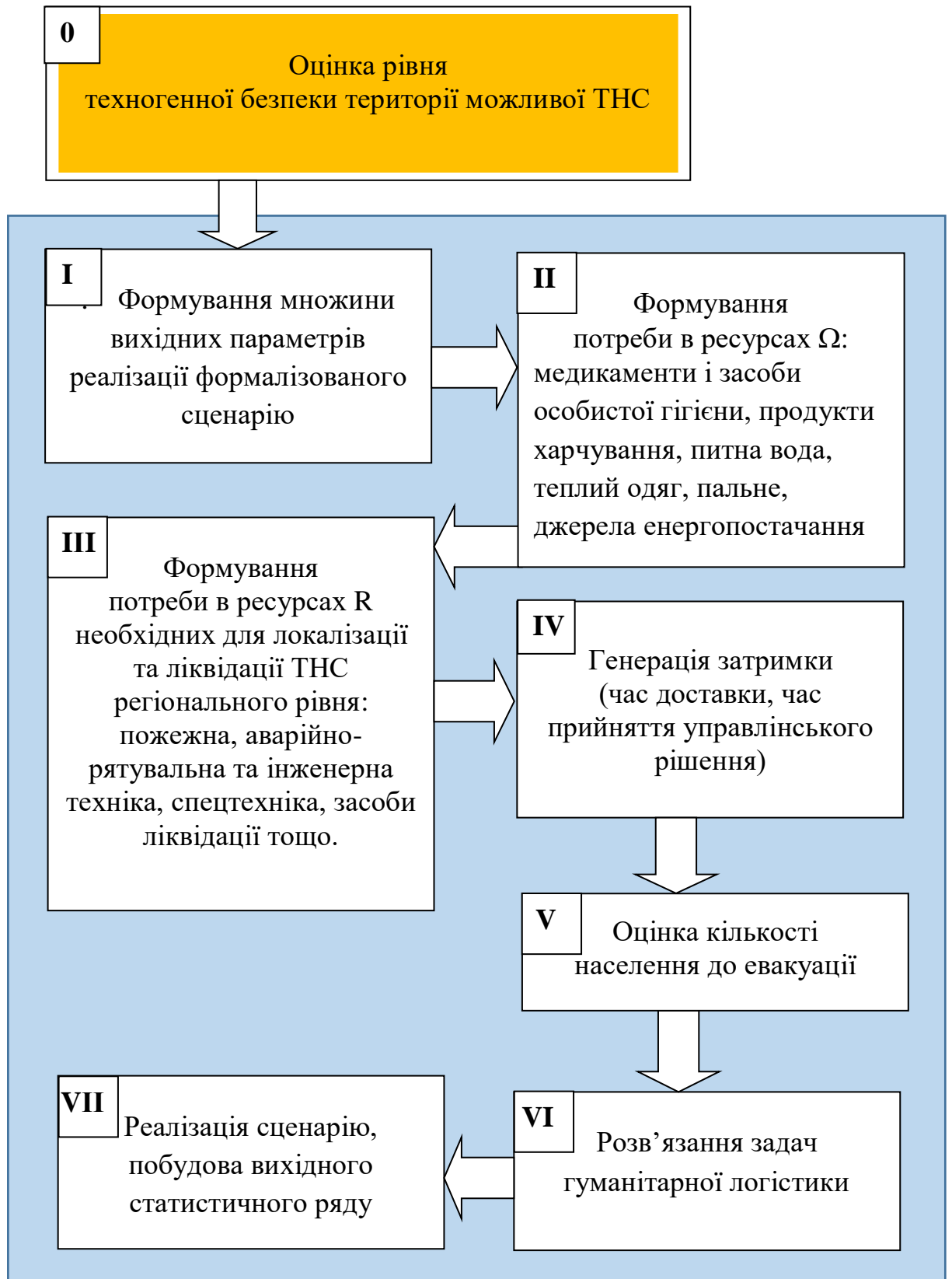


Рис. 4.2. Основні блоки реалізації організаційно-технічного методу на основі побудови симулятора сценарного підходу

Крок 2. Формування потреби в ресурсах Ω : медикаменти і засоби особистої гігієни, продукти харчування, питна вода, теплий одяг, пальне, джерела енергопостачання.

Потреба в цих ресурсах визначається з використанням добових норм Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) [134], а саме яка становить 2,5 літрів води на день, 3-разове харчування на людину на день, один медичний набір на одну особу в перші 72 години катастрофи.

На основі цих стандартів та припущень, потреби в наданні допомоги в районах визначаються з урахуванням їх населення з використанням наступного формулювання [57]:

$$\delta_{in} = p_i \theta_n \sum_h t_h (1 - q_h), \quad \forall i, n, \quad (4.3)$$

де δ_{ik} – попит у локації \wp_i на пропозицію допомоги Ω_n ; p_i – постраждале населення в локації \wp_i ; θ_n – вимога постачання гуманітарної допомоги типу n на людину/одиницю часу; t_h – час готовності до обслуговування для вузла постачання h ; q_h – кількість, що представляє частку потреби, задоволеної наявними ресурсами у вузлах пропозиції (приймаємо рівним 0,6).

Крок 3. Формування потреби в ресурсах R , необхідних для локалізації та ліквідації ТНС регіонального рівня: пожежна, аварійно-рятувальна та інженерна техніка, спецтехніка, засоби ліквідації тощо.

Потреба у цих ресурсах визначається згідно Методики [38], докладний аналіз якої наведено в п. 1.1.2 дисертаційної роботи.

Крок 4. Генерація затримки (упорядкування, час доставки, час прийняття управлінського рішення).

Змістом даного кроку є:

4.1. Визначення векторів пріоритетів $\beta_m = \{\beta_{m1}, \beta_{m2}, \dots, \beta_{I^m}\}$ локацій \wp_i , $i=1,2,\dots,I^m$, $m=1,2,\dots,M$, що є охопленими зоною S_m впливу m -го МЦД

щодо евакуації постраждалих та $\chi_m = \{\chi_{m1}, \chi_{m2}, \dots, \chi_{I^m}\}$ місць доставки вантажів за зонами МЦД. Вектори пріоритетів β_m , χ_m задають порядок обслуговування локацій в залежності від їх географічного розташування.

4.2. Визначення матриць відстаней \mathfrak{R}_m рангу I^m , елементи яких задають відстані між об'єктами \wp_i , $i=1,2,\dots,I^m$, $m=1,2,\dots,M$, що є охопленими зоною S_m впливу m -го МЦД, та відповідних матриць \mathfrak{S}_m рангу I^m , що задають ступінь складності подолання відстаней між об'єктами \wp_i .

Крок 5. Оцінка кількості населення до евакуації визначається в долях від населення локацій \wp_i , $i=1,2,\dots,I^m$, $m=1,2,\dots,M$, в діапазоні (10% – 30 %) в залежності від вектору пріоритетів $\beta_m = \{\beta_{m1}, \beta_{m2}, \dots, \beta_{I^m}\}$.

4.2 Побудова апаратно-програмного комплексу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації

Етапи організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС на основі реалізації сценарного підходу до прогнозування обсягів ресурсного забезпечення процесу локалізації та ліквідації наслідків НС є підґрунтям проектування структурної схеми прогнозної моделі як сукупності абстрактних взаємопов'язаних елементів, що описують функції системи, що проектується, можливі варіанти її використання, ознаки інформації, що циркулює в системі, об'єкти та суб'єкти, що взаємодіють із системою як основи автоматизованої інформаційної системи.

Таким чином, програмування середовища побудов сценаріїв стосовно розв'язання задачі ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів та мінімізації їх наслідків включає визначення характеристик, візуалізацію та документування концептів цієї галузі.

В роботі для цієї мети застосовано уніфіковану мову моделювання UML (Unified Modeling Language). UML є невід’ємною частиною уніфікованого процесу розробки програмного забезпечення. Це відкритий стандарт, що використовує графічні позначення для створення абстрактної моделі системи, яка власне, і називається UML-моделлю [135].

На рис. 4.3 представлено діаграму класів, що застосовуються при визначенні структурної схеми прогнозної моделі обсягів ресурсного забезпечення.

Дана структурна модель містить 7 класів, кожен з яких складається з трьох компонент: ім’я класу, атрибути класу (середня частина на графічному поданні класу) та методи класу.

UML-діаграма класів, що розглядається на рис. 4.3, відображає взаємні відношення основних сутностей предметної області ресурсного забезпечення процесу реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів, а саме:

- клас *МЦД – Мобільний центр допомоги* – центральний клас;
- клас *Населений пункт*;
- клас *Транспортний засіб*;
- клас *Спеціальна техніка*;
- клас *План Використання*;
- клас *Потреби ресурси населення*;
- клас *Потреби ресурси ліквідації*.

Клас *План Використання* є похідним та містить результати розрахунків за математичними моделями та алгоритмами, що розглянуті в розділах 2, 3.

UML-діаграму класів на рис. 4.3 виконано в середовищі Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition.

Visual Paradigm (ліцензія Free Community Edition) є CASE-засобом побудови професійних UML-діаграм, ER-діаграм, блок-схем та інших графічних моделей.

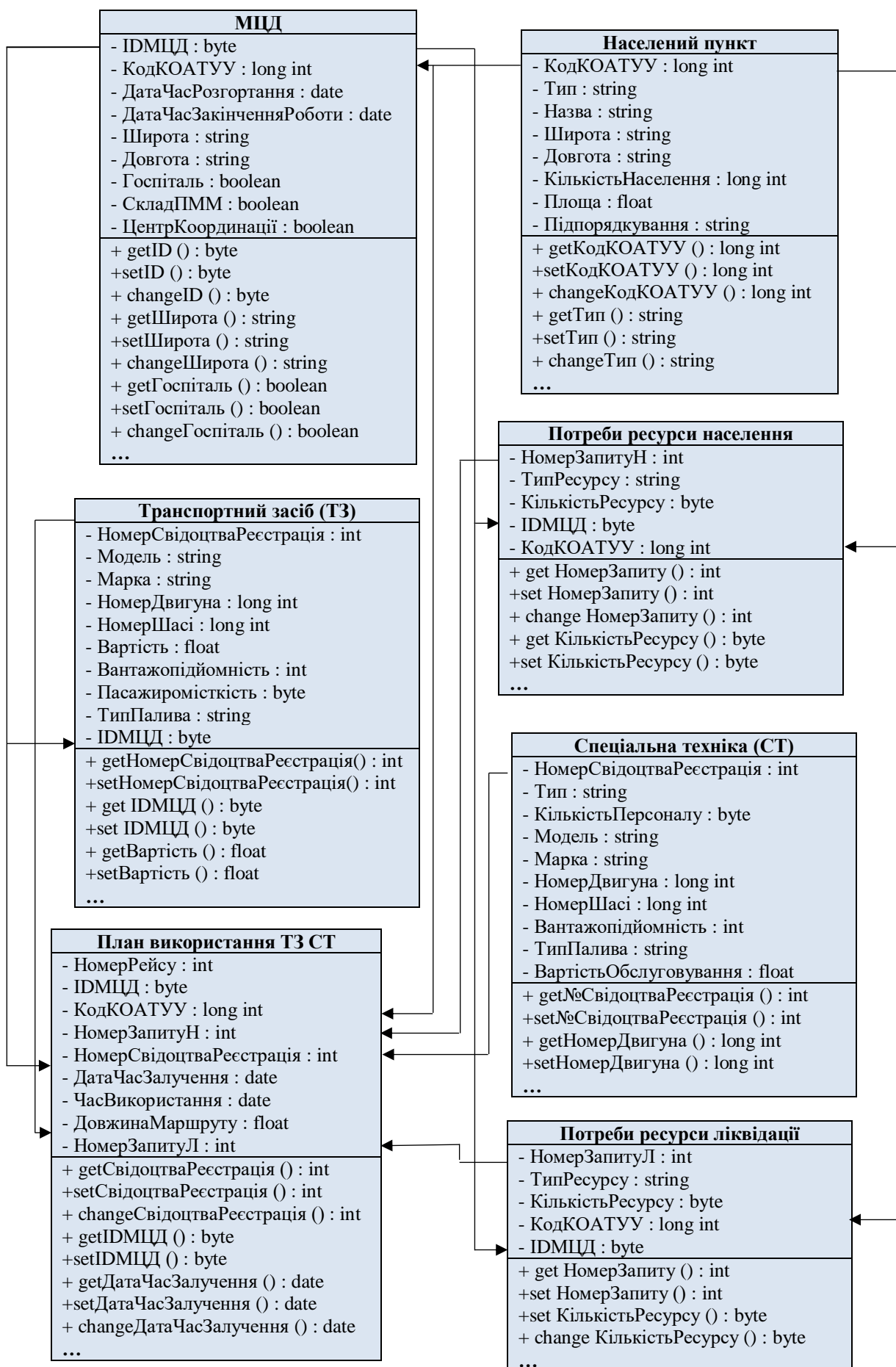


Рис. 4.3. Структурна схема UML-діаграми класів

Інформаційне середовище побудови сценаріїв є інтерактивним та включає ОПР, інтерфейс з Google Maps та Інтерактивною картою ремонту доріг, що підтримується Державним агентством автомобільних доріг України «Укравтодор», функціонал електронних таблиць (MS Excel) та програму мовою C++, виконану у середовищі візуального програмування C++ Builder Community Edition [136]. Перевагою обраного інструментального засобу програмування є інтуїтивно зрозумілий розвинений графічний інтерфейс, наявність потужної бібліотеки спеціалізованих підпрограм та можливість підключення API (Application Programming Interface) Google Maps через бібліотеку WebGMaps та використання компонента TWebBrowser для динамічних прогнозних моделей.

Таким чином, надано опис інформаційних середовищ розробки та функціонування прототипу десктопного програмного додатку, що реалізує процедуру формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів на основі сценарного підходу до прогнозування обсягів необхідних матеріальних ресурсів.

Побудований апаратно-програмний комплекс визначення множини сценаріїв розвитку потенційної НС, що уможливорює створення інформаційного середовища прийняття ефективного управлінського рішення щодо плану реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів.

4.3 Чисельне моделювання та перевірка достовірності організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів

Розглянемо особливості чисельного моделювання та проблему доведення достовірності організаційно-технічного методу послідовно за кроками його реалізації (рис. 4.2).

Крок 1. Оцінка рівня техногенної безпеки.

Достовірність методичної реалізації Кроку 1 забезпечується

використанням достовірних вихідних даних, що отримані з надійних, перевірених джерел [134], обробкою цих даних апробованим математичним апаратом та загальноприйнятними програмними засобами.

Крок 2. Формування множини вихідних параметрів реалізації формалізованого сценарію.

Як було зазначено у п. 4.1, завдання вхідних параметрів реалізації формалізованого сценарію при стратегічному плануванні ресурсного забезпечення реагування та ліквідації наслідків ТНС є багатомірною задачею.

При побудові методики реалізації формалізованого сценарію ресурсного забезпечення реагування на ймовірну НС, потрібно зважати на необхідність оперувати з набором фізичних, геометричних та інших видів даних щодо НС як вхідних параметрів методу, а також щодо характеристик зони можливого ураження і наявних ресурсів територіального підрозділу ДСНС, які є ймовірнісними величинами.

Для опрацювання статистичної інформації (табл. 4.1, 4.2) про попередні значення параметрів можливої ТНС, параметрів зони ТНС – території S , параметрів транспортної мережі території S , параметрів територіального підрозділу ДСНС, взятої з відкритих джерел, та визначення відповідних функціональних залежностей використовувався апробований математичний апарат теорії ймовірностей та регресійного аналізу.

1. Параметри можливої ТНС.

Дослідження характеристик статистичного ряду щодо перебігу НС внаслідок вибухів на АСБ, що відбулись за останні 20 років в світі та в Україні (див. п.п. 1.2.1, табл. 4.1, 4.2) показали, що параметр t – час виникнення ТНС, приймає значення на множині місяців {березень – жовтень}, причому досить рівномірно.

Таким чином, при моделюванні сценарію розвитку НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, вважаючи час умовно неперервною величиною, прийнято гіпотезу щодо рівномірного розподілу часу t моменту настання ТНС на інтервалі $[a,b)$ із функцією розподілу.

Таблиця 4.2

Опис множини ресурсів R, задіяних при ліквідації надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів на арсеналах, складах боєприпасів

№ з/п	Назва та опис надзвичайної ситуації	Кількість спецтехніки, задіяної під час локалізації*	Час локалізації, годин	Оцінка транспортних шляхів, км
1	2	3	4	5
1.	<p>Вибухи на артилерійських складах у с. Новобогданівка Запорізької області</p> <p>6 травня 2004 р.</p>	<p>272 одиниць</p> <p>(у тому числі 2 гелікоптери та 2 пожежні танки)</p>	300	<p>Через селище проходить автошлях територіального значення Т0811.</p> <p>Близько селища прокладені автошляхи міжнародного значення М14 та М18, європейські автошляхи Е58 та Е105, а також автошляхи регіонального значення Р37 та територіального значення Т0401.</p>

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5
2.	Вибухи на артилерійських складах у с. Новобогданівка Запорізької області 19 серпня 2006 р.	96 одиниць <i>(у тому числі 1 пожежний гелікоптер)</i>	70	
3.	Вибух на військовому арсеналі у м. Лозова Харківської області 27 серпня 2008 р.	207 одиниць <i>(у тому числі 1 пожежний потяг, 2 пожежні літаки та 2 пожежні гелікоптери)</i>	76	Через місто проходять регіональний автошлях Р51 та територіальний автошлях Т2113, залізничний вузол Південної залізниці «Лозова».
4.	Вибух на складі боєприпасів у м. Сватове Луганської області 29 жовтня 2015 р.	72 одиниць <i>(у тому числі 3 пожежні танки)</i>	32	Через місто проходять регіональні автошляхи Р07, Р66 та територіальні автошляхи Т1307, Т1312.
5.	Вибух на базі зберігання боєприпасів ЗСУ м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р.	153 одиниць <i>(у тому числі 2 пожежних гелікоптери)</i>	85	Через місто проходять регіональний автошлях Р78 та автошлях територіального

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5
				значення Т2110.
6.	Вибух на складі боєприпасів у с. Калинівка Вінницької області 26 вересня 2017 р.	149 одиниць <i>(у тому числі 1 пожежних літак та 1 пожежний танк)</i>	88	Через селище проходять автошлях територіального значення Т0219; Близько селища проходять автошлях міжнародного значення М21 та європейський автошлях Е583.

* Узагальнені дані, що включають сили та засоби ДСНС, Збройних Сил України, Департаменту охорони здоров'я, Міністерства оборони та інших структур

$$F(t) = \begin{cases} 0, & t \leq a; \\ \frac{t-a}{b-a}, & a < t \leq b; \\ 1, & t > b. \end{cases} \quad (4.4)$$

При цьому $a = 0$, $b = 240$.

У свою чергу, дослідження характеристик статистичного ряду щодо перебігу надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, що відбулись за останні 15 років в світі та в Україні (див. п.п. 1.2.1, та вибірккові дані табл. 4.1, 4.2) на основі побудови відповідних гістограм показало, що параметр τ – час локалізації ТНС – можна вважати розподіленим за нормальним законом із функцією розподілу вигляду

$$F(\tau) = \frac{1}{\sigma_\tau \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx, \quad (4.5)$$

де m_x – математичне сподівання випадкової величини τ , приймається рівним 107 год.; σ_τ – середньоквадратичне відхилення – 96,2.

2. Параметри зони ТНС – території S.

Методика визначення параметрів зони надзвичайної ситуації S та апроксимаційного багатокутнику $\Psi(x^S, y^S)$ докладно розглянута в п.п. 3.2.2.

Реалізацію підходу, що запропоновано в п.п. 3.2.2, проілюстровано на прикладі НС внаслідок вибухів на складі боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23.06.17 р. (рис. 4.4).

Геометричні параметри території НС (y_1) визначаються радіусом дії r , що є нечітким числом – нечіткою числовою множиною та визначається характеристиками боєприпасів, які зберігаються на складі або арсеналі (див. п.п. 1.2.1 – 1.2.2), що розглядається.

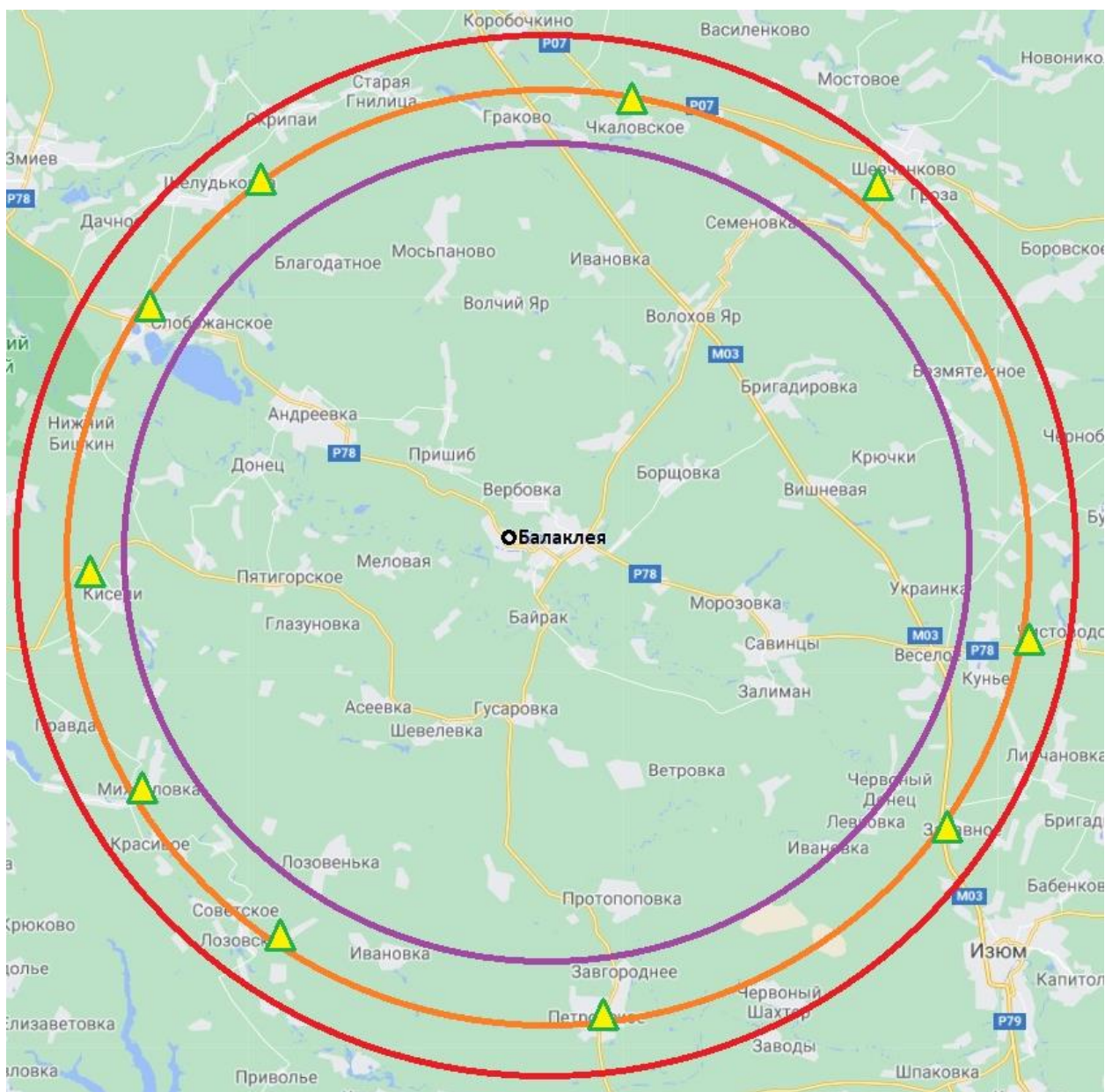


Рис. 4.4. Побудова зони НС від вибухів на складі боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р.

На рисунку 4.4 носій (а, с) нечіткої числової множини – радіусу дії r – задається фіолетовим та червоним колами, тоді як b – координата максимуму – оптимістична оцінка нечіткого числа – задається помаранчевим колом.

В роботі використовується припущення, що носій (а, с) нечіткої числової множини складає 10% від оцінки радіусу дії r . Дана оцінка отримана на основі узагальнення експертних суджень.

Приймається, що ймовірність ураження на фіолетовому колі менша за індивідуальний ризик ураження.

Радіус дії r визначає межі можливої зони НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, та є основою завдання кількості I та формування множини координат населених пунктів $\varphi_i, 1, 2, \dots, I$, зони ураження, що реалізується через функціонал додатку Google Maps.

Визначені також можливі локації розташування мобільних центрів допомоги, а саме підмножини $\varphi_h, h=1, 2, \dots, H < I$, населених пунктів, що належать кільцю K – геометричному образу нечіткої множини (a, c) . На рис. 4.4 ці локації показані як зелені трикутники.

Реалізація алгоритму розв'язання задачі (2.18 – 2.23) визначення параметрів оптимального розміщення множини МЦД на дискретній множині припустимих значень (підр. 3.5.1) виконана мовою візуального програмування високого рівня C++ у середовищі C++ Builder [130].

Таким чином, реалізація блоку 1 структурної схеми рис. 4.1 забезпечує визначення кількості M мобільних центрів допомоги, а також векторів

$$\{(x_1, y_1), \dots, (x_M, y_M)\},$$

$$(x_\zeta^m, y_\zeta^m), \zeta=1, 2, \dots, n_m, m=1, 2, \dots, M,$$

координат розміщення мобільних центрів допомоги та координат вершин границі багатокутників C_m відповідно.

Очевидно, що чим більше планується розгорнути МЦД, тим меншою може бути їх потужність.

Результат реалізації алгоритму побудови множини багатокутників C_m (жовтим кольором) наведено на рис. 4.5.

Крок 3. Формування потреби в ресурсах Ω . Потреба в ресурсах Ω визначається на основі використання добових норм Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) [134] та адаптації підходу [57] у вигляді (4.3).

Під час чисельного моделювання прийняті такі припущення.

Зауваження 4.1. Попит, розрахований у рівнянні (4.3) передбачає, що кожен ресурс, що надходить, відповідає вимогам усіх районів зони ураження однорідно.

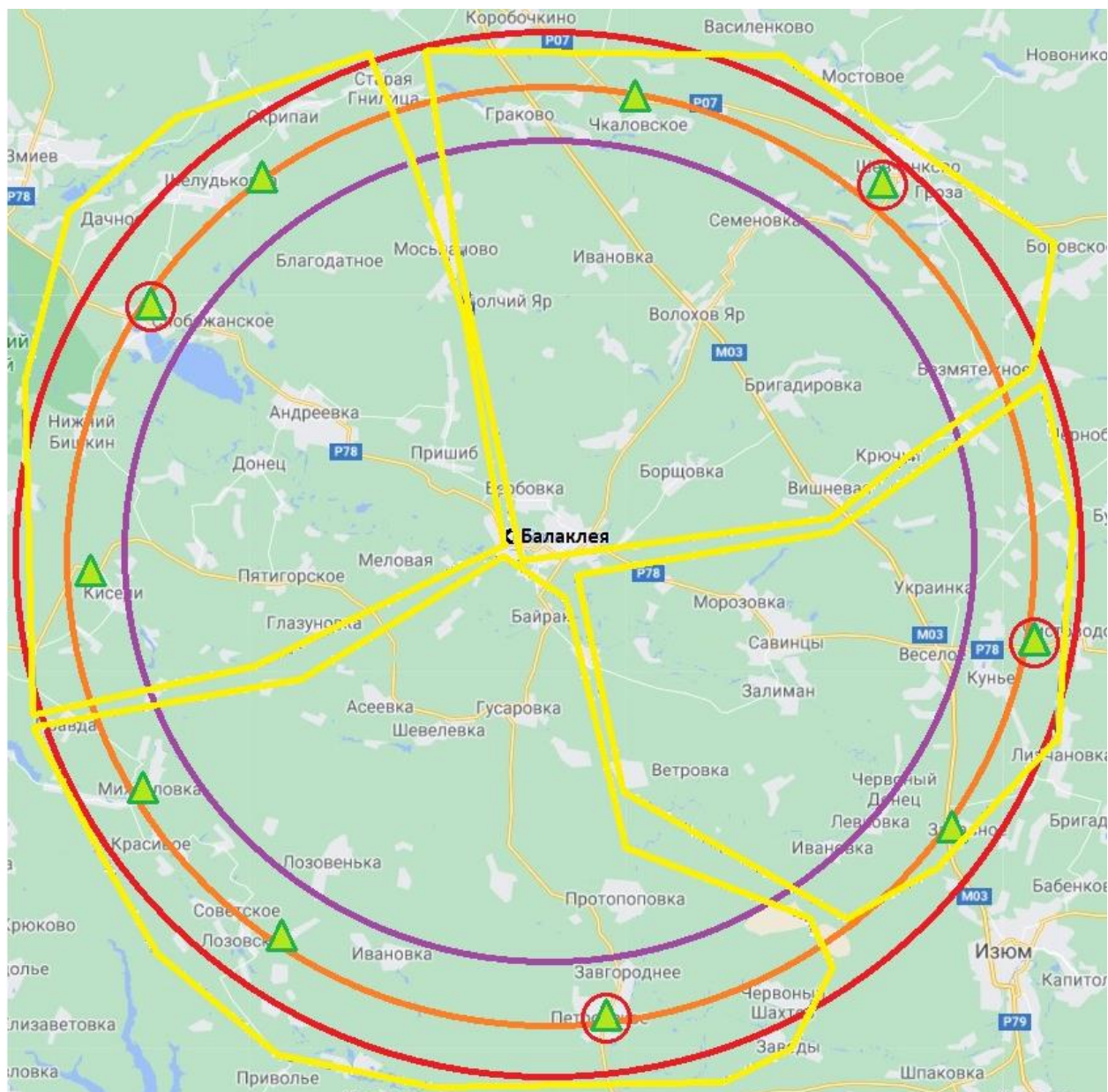


Рис. 4.5. Варіант визначення місць можливого розташування мобільних центрів допомоги на прикладі розгляду зони НС внаслідок вибухів на складі боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р.

Зауваження 4.2. Виходячи з аналізу наявних статистичних даних, покладемо, що невідкладної гуманітарної допомоги, що має надійти із зовнішніх джерел, у тому числі через МЦД, потребує [20 - 30] % населення зони НС, [10 - 12] % населення зони НС потребує евакуації.

Таким чином, достовірність методичної реалізації Кроків 2, 3 організаційно-технічного методу забезпечується використанням достовірних вихідних даних, що отримані з надійних, відкритих джерел, обробкою цих даних на основі апробованого математичного апарату, включаючи відповідну перевірку узгодженості теоретичного закону розподілу з експериментальними даними, та програмних засобів.

Крок 4. Формування потреби в ресурсах R.

Потреба у ресурсах R визначається згідно Методики [38] на основі значень параметрів можливої ТНС та параметрів зони ураження, отриманих на попередніх кроках реалізації організаційно-технічного методу.

Отже, достовірність методичної реалізації Кроку 4 організаційно-технічного методу забезпечується застосуванням чинної нормативної документації.

Крок 5. Генерація затримки (упорядкування, час доставки, час прийняття управлінського рішення).

При визначенні векторів пріоритетів β_m , χ_m локацій φ_i , $i=1,2,\dots,I^m$, $m=1,2,\dots, M$, щодо евакуації постраждалих та місць доставки вантажів використовуються наявні дані щодо типів боєприпасів, котрі зберігаються на складі, що розглядається, та радіусів їх ураження.

При визначенні матриць відстаней \mathfrak{R}_m використовуються об'єктивні географічні дані. Елементи матриці \mathfrak{Z}_m , що задають ступінь складності подолання відстаней між об'єктами φ_i , визначаються в діапазоні [1...2] та обираються при моделюванні на основі рівномірного розподілу.

Отже, достовірність методичної реалізації Кроку 5 організаційно-технічного методу забезпечується застосуванням об'єктивних даних щодо

характеристик наявних боєприпасів та географічних властивостей зони ураження.

Крок 6. Оцінка кількості населення до евакуації визначається як усереднена на основі аналізу наявної статистичної інформації про минулі НС даного типу з урахуванням Зауваження 4.2.

Практична реалізація організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів в рамках сценарного підходу складається із побудови множини сценаріїв, як послідовного опису альтернативного гіпотетично можливого варіанту розвитку подій у майбутньому, який відображає різні точки зору на минуле, теперішнє та майбутнє, а також може слугувати базисом для стратегічного планування [107].

З метою проведення процедури моделювання наявні вихідні дані щодо побудови сценаріїв НС внаслідок вибухів на складі боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р. використовувалися із варіацією $\pm 10\%$.

Згідно зі схемою реалізації формалізованого сценарію ресурсного забезпечення ТНС, як ітерації організаційно-технічного методу, елементи якої розглянуті вище, визначені діапазони зміни параметрів ТНС, параметрів зони ТНС, транспортної мережі зони ТНС та параметрів ресурсного забезпечення територіального підрозділу ДСНС.

В якості вантажів першої допомоги визначено воду, набори готової їжі (0,5 кг кожний) та набори базових медикаментів (0,25 кг кожний).

З метою перевірки достовірності організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів на основі чисельної реалізації визначення множини сценаріїв розвитку НС процедура реалізації методу проведена на двох типах даних:

- на наявних даних щодо організації оперативно-рятувальних робіт з реагування на НС внаслідок вибухів на військовому складі боєприпасів у м. Балаклія за відсутності мобільних центрів допомоги;

- на модельних даних щодо організації оперативно-рятувальних робіт з реагування на НС внаслідок вибухів на військовому складі боєприпасів у м. Балаклія при застосуванні розгортання мобільних центрів допомоги, тобто при застосуванні методики визначення кількості, місць розташування та потужності МЦД.

Загалом було побудовано 19 сценаріїв розвитку рятувальних операцій в залежності від згенерованого набору вхідних параметрів.

Особлива увага надавалась середньому та найгіршому випадкам, коли враховуються середній та найтриваліший час виконання сценаріїв.

Результати моделювання вхідних даних наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3.

Узагальнені результати імітаційних експериментів щодо розв'язання Задачі 1.

Визначення характеристик ТНС

Назва вхідного параметра	Значення		Назва вхідного параметра	Значення	
	Середній випадок	Найгірший випадок		Середній випадок	Найгірший випадок
Тривалість локалізації, год.	78	89	Кількість осіб до евакуації	29058	36267
Радіус зони ТНС, км	45	50	Вода, тон/доба	163	209
Площа зони ТНС, км ²	6289,6	7850	Набори готової їжі, тон	97,8	125,6
Кількість уражених локацій, одиниць, од.	22	27	Набори медикаментів, тон	39,1	50,2
Кількість осіб, що потребують допомоги	63060	85722			

Проміжні розрахунки моделювання наведені на рис. 4.6, рис. 4.7.

№ експерименту	Радіус, км	Площа ураженої зони, км ²	Кількість населення, осіб	Тривалість локалізації, год	Тривалість локалізації, дб	Кількість уражених локацій, од	Кількість населення, що потребує допомоги, %	Кількість населення, що потребує допомоги, осіб	Кількість населення, що потребує евакуації, осіб
1	42	5539,0	232636	75	3,13	19	27	62812	25590
2	40	5024,0	211008	71	2,96	17	28	59082	23211
3	45	6358,5	267057	70	2,92	22	21	56082	29376
4	45	6358,5	267057	90	3,75	22	26	69435	29376
5	40	5024,0	211008	77	3,21	17	24	50642	23211
6	50	7850,0	329700	74	3,08	27	26	85722	36267
7	47	6936,3	291323	72	3,00	24	20	58265	32046
8	40	5024,0	211008	88	3,67	17	20	42202	23211
9	41	5278,3	221690	89	3,71	18	30	66507	24386
10	47	6936,3	291323	71	2,96	24	21	61178	32046
11	49	7539,1	316644	79	3,29	26	25	79161	34831
12	47	6936,3	291323	81	3,38	24	24	69918	32046
13	40	5024,0	211008	75	3,13	17	22	46422	23211
14	46	6644,2	279058	72	3,00	23	28	78136	30696
15	44	6079,0	255320	77	3,21	21	26	66383	28085
16	47	6936,3	291323	86	3,58	24	23	67004	32046
17	45	6358,5	267057	76	3,17	22	22	58753	29376
18	43	5805,9	243846	82	3,42	20	21	51208	26823
19	50	7850,0	329700	74	3,08	27	21	69237	36267
Середній випадок	45	6289,6	264163	78	3,24	22	24	63060	29058
Найгірший випадок	50	7850,0	329700	90	3,75	27	30	85722	36267

Рис. 4.6. Перебіг моделювання вхідних даних

№ експерименту	Загальний об'єм води, тон (норма на 1 людину: 2,5 л/доба)	Добовий об'єм води, тон	Об'єм води, який необхідно доставити, тон/доба (40 % від загального об'єму)	Загальний об'єм медикаментів, тон (норма на 1 людину: 0,25 кг/період локалізації)	Загальний об'єм їжі, тон (норма на 1 людину: 1,5 кг/доба)	Добовий об'єм їжі, тон	Об'єм їжі, який необхідно доставити, тон/доба (40 % від загального об'єму)
1	468,2	158,3	63,3	15,8	280,9	95,0	38,0
2	486,9	164,6	65,8	16,5	292,2	98,8	39,5
3	456,2	133,5	53,4	13,4	273,7	80,1	32,0
4	732,5	209,3	83,7	20,9	439,5	125,6	50,2
5	657,5	202,3	80,9	20,2	394,5	121,4	48,6
6	423,6	133,8	53,5	13,4	254,2	80,3	32,1
7	717,8	205,1	82,0	20,5	430,7	123,1	49,2
8	519,9	140,2	56,1	14,0	312,0	84,1	33,6
9	551,9	159,6	63,8	16,0	331,1	95,7	38,3
10	622,1	182,1	72,8	18,2	373,2	109,2	43,7
11	472,6	131,9	52,8	13,2	283,5	79,1	31,7
12	703,2	205,8	82,3	20,6	421,9	123,5	49,4
13	623,4	166,2	66,5	16,6	374,0	99,7	39,9
14	481,6	158,3	63,3	15,8	288,9	95,0	38,0
15	451,0	142,4	57,0	14,2	270,6	85,5	34,2
16	406,9	133,8	53,5	13,4	244,1	80,3	32,1
17	537,2	153,5	61,4	15,3	322,3	92,1	36,8
18	482,6	152,4	61,0	15,2	289,6	91,4	36,6
19	507,5	164,6	65,8	16,5	304,5	98,8	39,5
Середній випадок	542,2	163,0	65,2	16,3	325,3	97,8	39,1
Найгірший випадок	732,5	209,3	83,7	20,9	439,5	125,6	50,2

Рис. 4.7. Оцінка необхідного обсягу гуманітарної допомоги

Таким чином, отримано розв'язання Задачі 1 визначення необхідних обсягів ресурсів щодо локалізації та ліквідації НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, а саме потреби в ресурсах на множині $\wp = \{ \wp_i \}_{i \in I}$ пунктів доставки (п.п. 3.1).

Подальше моделювання та розв'язання Задачі 2. (п.п. 3.1) визначення оптимальних шляхів транспортування ресурсів та евакуації постраждалих проводилось на наборах даних, структура яких подана в табл. 4.4. При цьому розглядалась як імітація поточної системи (за відсутності МЦД), так і система організації оперативно-рятувальних робіт при застосуванні розгортання мобільних центрів допомоги.

Узагальнені результати експериментів зведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Узагальнені результати імітаційних експериментів

Назва параметра	Із застосуванням МЦД. Зона відповідальності C_m		Без застосування МЦД	
	Середній випадок	Найгірший випадок	Середній випадок	Найгірший випадок
Час розгортання МЦД, год	8	11		
Кількість МЦД	3	4		
Кількість пунктів в зоні одного МЦД	20	23		
Час доставки вантажів (гуманітарної допомоги), год/рейс	1	1,6	1,3	2,3
Час евакуації, год/рейс	0,8	1,12	1,5	2,5

Для підтвердження достовірності організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів як наукового результату цей підхід було застосовано при опрацюванні інформації про НС внаслідок вибухів на артилерійських складах у с. Новобогданівка Запорізької області 6 травня 2004 р. (рис. 4.8 – 4.10).

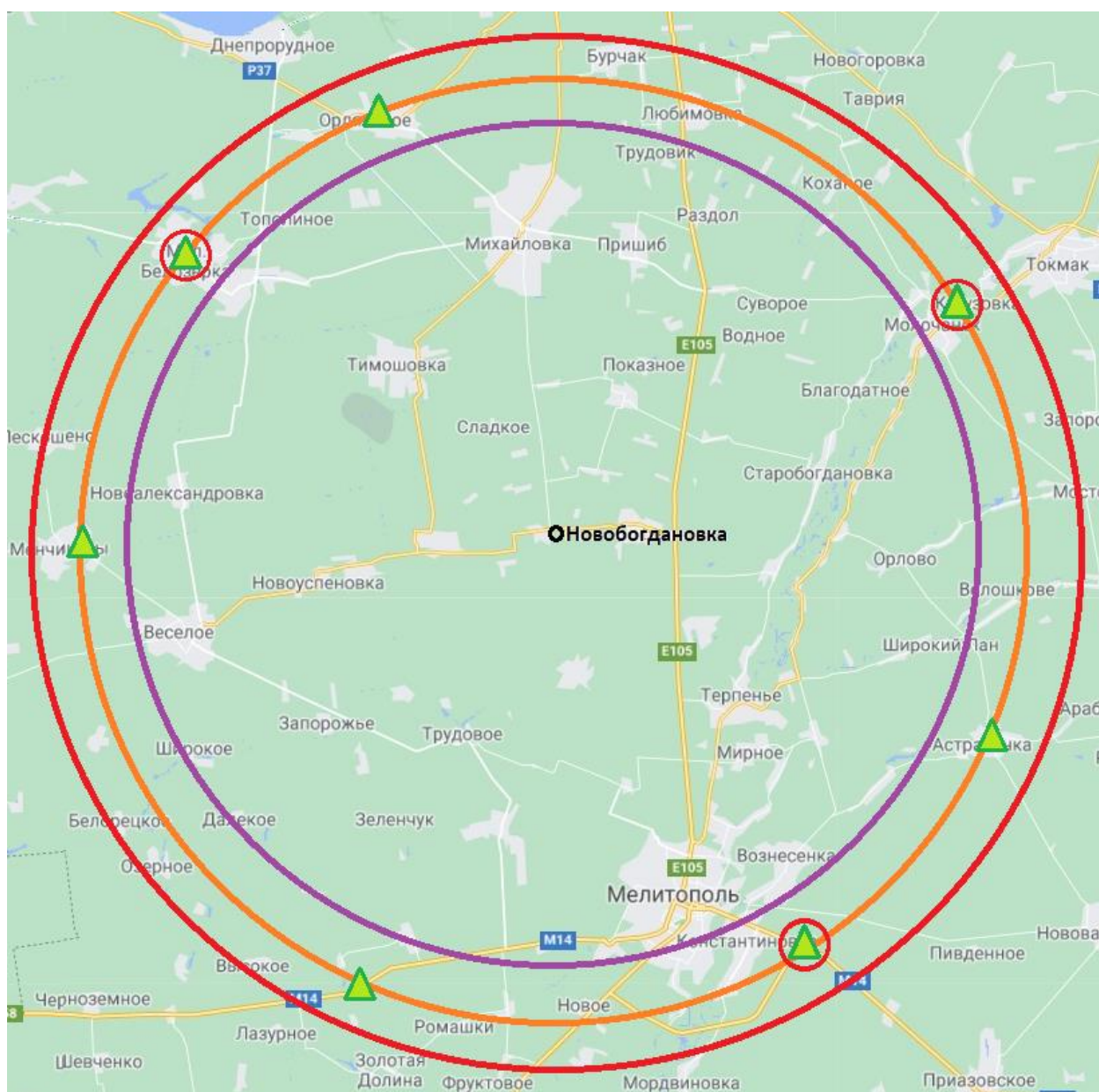


Рис. 4.8. Побудова зони НС внаслідок вибухів на артилерійських складах біля с. Новобогданівка Запорізької області 6 травня 2004 р.

№ експерименту	Радіус, км	Площа ураженої зони, км ²	Кількість населення, осіб	Тривалість локалізації, год	Тривалість локалізації, днів	Кількість уражених локацій, од	Кількість населення, що потребує допомоги, %	Кількість населення, що потребує допомоги, осіб	Кількість населення, що потребує евакуації, осіб
1	40	5024,0	231104	290	12,08	16	28	64709	25421
2	36	4069,4	187194	289	12,04	13	22	41183	20591
3	37	4298,7	197738	288	12,00	14	21	41525	21751
4	39	4775,9	219693	296	12,33	16	23	50529	24166
5	36	4069,4	187194	304	12,67	13	20	37439	20591
6	37	4298,7	197738	311	12,96	14	24	47457	21751
7	39	4775,9	219693	294	12,25	16	28	61514	24166
8	40	5024,0	231104	305	12,71	16	28	64709	25421
9	37	4298,7	197738	302	12,58	14	24	47457	21751
10	38	4534,2	208571	295	12,29	15	22	45886	22943
11	38	4534,2	208571	303	12,63	15	20	41714	22943
12	38	4534,2	208571	286	11,92	15	28	58400	22943
13	36	4069,4	187194	285	11,88	13	27	50542	20591
14	39	4775,9	219693	296	12,33	16	29	63711	24166
15	39	4775,9	219693	289	12,04	16	25	54923	24166
16	38	4534,2	208571	313	13,04	15	28	58400	22943
17	37	4298,7	197738	314	13,08	14	27	53389	21751
18	38	4534,2	208571	303	12,63	15	20	41714	22943
19	37	4298,7	197738	291	12,13	14	25	49435	21751
Середній випадок	38	4501,3	207059	298	12,40	15	25	51297	22776
Найгірший випадок	40	5024,0	231104	314	13,08	16	29	64709	25421

Рис. 4.9. Моделювання вхідних даних щодо НС внаслідок вибухів на артилерійських складах біля с. Новобогданівка Запорізької області 6 травня 2004 р.

№ експерименту	Загальний об'єм води, тон (норма на 1 людину: 2,5 л/доба)	Добовий об'єм води, тон	Об'єм води, який необхідно доставити, тон/доба (40 % від загального об'єму)	Загальний об'єм медикаментів, тон (норма на 1 людину: 0,25 кг/період локалізації)	Загальний об'єм їжі, тон (норма на 1 людину: 1,5 кг/доба)	Добовий об'єм їжі, тон	Об'єм їжі, який необхідно доставити, тон/доба (40 % від загального об'єму)
1	1640,6	133,5	53,4	13,3	984,4	80,1	32,0
2	1773,1	142,8	57,1	14,3	1063,9	85,7	34,3
3	1242,7	104,3	41,7	10,4	745,6	62,6	25,0
4	1248,2	98,9	39,5	9,9	748,9	59,3	23,7
5	1761,0	148,3	59,3	14,8	1056,6	89,0	35,6
6	1253,0	98,3	39,3	9,8	751,8	59,0	23,6
7	1747,3	135,7	54,3	13,6	1048,4	81,4	32,6
8	1448,3	114,7	45,9	11,5	869,0	68,8	27,5
9	2001,9	161,8	64,7	16,2	1201,2	97,1	38,8
10	1405,2	109,5	43,8	10,9	843,1	65,7	26,3
11	1815,1	150,2	60,1	15,0	1089,1	90,1	36,1
12	1486,8	117,0	46,8	11,7	892,1	70,2	28,1
13	1511,2	117,0	46,8	11,7	906,7	70,2	28,1
14	1946,5	148,3	59,3	14,8	1167,9	89,0	35,6
15	1651,7	133,5	53,4	13,3	991,0	80,1	32,0
16	1851,7	143,4	57,3	14,3	1111,0	86,0	34,4
17	1759,8	140,8	56,3	14,1	1055,9	84,5	33,8
18	1291,5	108,8	43,5	10,9	774,9	65,3	26,1
19	1934,1	150,2	60,1	15,0	1160,4	90,1	36,1
Середній випадок	1619,5	129,3	51,7	12,9	971,7	77,6	31,0
Найгірший випадок	2001,9	161,8	64,7	16,2	1201,2	97,1	38,8

Рис. 4.10. Оцінка необхідного обсягу гуманітарної допомоги

Таким чином, достовірність організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів підтверджується схожістю результатів моделювання з наявними експериментальними даними при розв'язанні основної задачі дослідження. У цілому вона визначається достовірністю результатів, отриманих на кожному з етапів проведення дослідження.

Поряд з цим, достовірність організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів забезпечено використанням достовірних вихідних даних, що отримані за результатами теоретичних і експериментальних досліджень; обґрунтованим вибором основних допущень і обмежень при формулюванні постановок наукових завдань роботи; використанням сучасного, апробованого математичного апарату; обґрунтованим коректним застосуванням побудованих критеріїв оптимальності.

4.4 Оцінка ефективності реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів при реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення

Багатофакторність основної задачі дослідження зумовила необхідність використання арсеналу засобів імітаційного та оптимізаційного моделювання, а також застосування апарату нечітких множин та побудови експертних оцінок для формалізації вихідних даних.

При побудові та реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів враховано такі особливості реального процесу завчасного планування як першої функції управління, що є джерелами невизначеності параметрів НС та стану зовнішнього середовища:

- випадковий характер виникнення НС;
- просторова розподіленість ураженої території;

- необхідність одночасного проведення заходів в кількох географічно віддалених локаціях;
- ймовірнісний характер розвитку та параметрів НС;
- організація та запровадження роботи тимчасових (на період локалізації НС та ліквідації її наслідків) мобільних центрів допомоги, та інші фактори.

Проведемо класифікацію основних важелів підвищення ефективності планування реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів з урахуванням вищезазначених умов, тобто невизначеності параметрів та стану зовнішнього середовища НС.

Підвищення ефективності реагування на НС внаслідок вибухів боєприпасів досягається за рахунок оптимізації ресурсного забезпечення реагування як передумови:

- максимального задоволення потреб постраждалого населення зони ураження – частковий критерій оптимальності (2.11);
- скорочення часу реагування, зокрема часу доставки гуманітарних вантажів у зони ураження і евакуації постраждалих – частковий критерій оптимальності (2.15), що забезпечує зниження рівня втрат серед цивільного населення та соціально-економічних наслідків НС.
- зменшення обсягів матеріальних (транспортних засобів, енергоносіїв тощо) ресурсів, і, відповідно, кількості обслуговуючого кваліфікованого персоналу, фінансових – частковий критерій оптимальності (2.13) – та інших видів ресурсів, необхідних для забезпечення процесу реагування;
- скорочення часу та підвищення обґрунтованості прийняття управлінського рішення на основі застосування відповідного програмно-апаратного комплексу.

Крім того, ОПР забезпечується цілим спектром упорядкованої інформації, агрегованої у вигляді, прийнятному для підтримки прийняття

обґрунтованого управлінського рішення.

Проведення низки імітаційних експериментів, узагальнені результати яких наведені в таблиці 4.4, підтверджують підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів при реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення (рис.4.10).

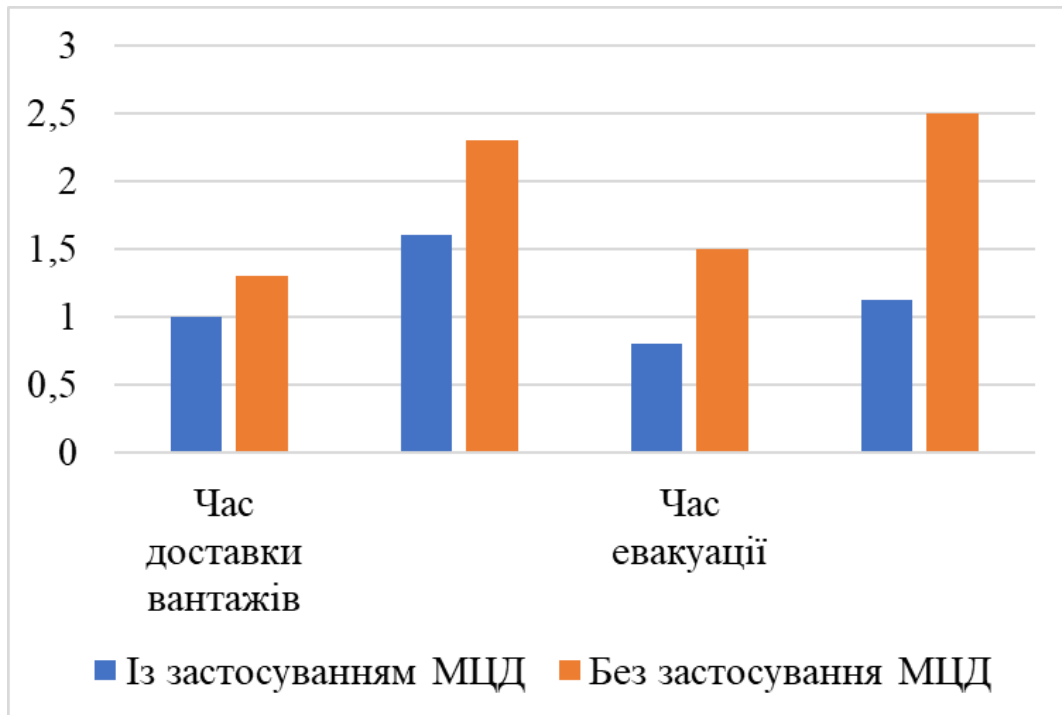


Рис. 4.11. Порівняння результатів моделювання часу логістичних операцій різних режимів реагування на НС внаслідок вибухів на складі боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р.

Отримане в результаті проведення чисельних експериментів скорочення часу доставки вантажів з невідкладною допомогою та евакуації населення компенсує час розгортання мобільних центрів допомоги та дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів R з ліквідації НС внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, зокрема парку транспортних засобів (рис.4.8).

Аналіз розв'язків низки чисельних результатів на чутливість та

порівняння результатів експериментів двох типів системи організації оперативно-рятувальних робіт як за відсутності мобільних центрів допомоги, так і при застосуванні розгортання МЦД (рис. 4.5) показує, що практичне застосування організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів та введення у практику рятувальних робіт мобільних центрів допомоги дозволило на певних кроках реалізації методу знизити загальний час доставки вантажів – на 30,2 % (табл. 4.3, 4.4), та загальний час евакуації постраждалого населення – на 55 % (табл. 4.3, 4.4).

Висновки до розділу 4

1. Розроблено пропозиції щодо інформаційного забезпечення реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації. Визначено залежність ефективності проведення рятувальних операцій від стану транспортної мережі зони надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів. Представлено укрупнені етапи реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру на основі реалізації сценарного підходу до прогнозування обсягів необхідних матеріальних ресурсів.

2. Визначено опис інформаційних середовищ розробки та функціонування прототипу десктопного програмного додатку, що реалізує процедуру формування ресурсного забезпечення реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру на основі сценарного підходу до прогнозування обсягів необхідних матеріальних ресурсів. Побудовано апаратно-програмний комплекс визначення множини сценаріїв розвитку потенційної надзвичайної ситуації, що уможливорює створення інформаційного середовища прийняття ефективного

управлінського рішення щодо плану реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Запропоновано структурну схему прогнозно-моделі ресурсного забезпечення як сукупності абстрактних взаємопов'язаних елементів, що описують функції системи, що проектується, можливі варіанти її використання, ознаки інформації, що циркулює в системі, об'єкти та суб'єкти, що взаємодіють із системою як основи автоматизованої інформаційної системи.

3. Наведено особливості чисельного моделювання та доведено достовірність організаційно-технічного методу послідовно за кроками його реалізації. Визначені характеристики та параметри розподілу вхідних даних, наведені результати чисельних експериментів щодо побудови множини сценаріїв на прикладі надзвичайної ситуації, пов'язаної з вибухами на складі боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р. та у с. Новобогданівка Запорізької області 06 травня 2004 р. Достовірність розроблених математичних та імітаційних моделей та розробленого на цій основі організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації забезпечено використанням достовірних вихідних даних, що отримані за результатами теоретичних і експериментальних досліджень; обґрунтованим вибором основних допущень.

4. Практичне застосування організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів та введення у практику рятувальних робіт мобільних центрів допомоги дозволило на певних кроках реалізації методу знизити загальний час доставки вантажів – на 30,2 % та загальний час евакуації постраждалого населення – на 55 %.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу у галузі цивільного захисту, а саме: розроблено організаційно-технічний метод формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів в інтересах підвищення ефективності реагування на такі надзвичайні ситуації з урахуванням невизначеності параметрів та стану зовнішнього середовища надзвичайної ситуації техногенного характеру.

За підсумками виконаної наукової роботи зроблено наступні висновки:

1. Проведено аналіз нормативно-правового та ресурсного забезпечення сил та засобів реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Виконано аналіз нормативної бази України з питань ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру, у тому числі внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів. Проаналізовані наявні методики розрахунку сил та засобів для локалізації та ліквідації надзвичайної ситуації такого типу. Як свідчить аналіз, дані методики не враховують умов, що призводять до надзвичайної ситуації, умов перебігу та ймовірного характеру розвитку надзвичайної ситуації, номенклатури та масштабу сил та засобів ресурсного забезпечення. Визначено причини виникнення та характер динаміки надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів боєприпасів в світі та в Україні. Виконано аналітичний огляд сучасного стану проблеми організації та оптимізації ресурсного забезпечення робіт з реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Визначено, що наявні прогнозні моделі ресурсного забезпечення задач з реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів, не в повній мірі враховують такі фактори, як просторова розподіленість надзвичайних ситуацій, недосконалість транспортної інфраструктури постраждалої території, терміновість доставки певних вантажів невідкладної допомоги та обладнання щодо ліквідації наслідків

надзвичайних ситуацій, експлуатація якого може проводитися у несприятливих погодних умовах.

2. На основі формалізації та аналізу розподілу матеріальних ресурсів системи техногенної безпеки при організації реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів у вигляді ієрархічної графової моделі обґрунтовано необхідність та визначено місце мобільних центрів допомоги в даній ієрархії, що закладає організаційну основу підвищенню ефективності безпосереднього керівництва оперативно-рятувальними роботами. Здійснено розробку та аналіз узагальненої математичної моделі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту як логістичної системи. Розроблена математична модель є багатокритеріальною задачею умовної нелінійної оптимізації, що припускає декомпозицію на сукупність підзадач більш простої структури. В рамках даної моделі розглянуто задачу покриття потреби в ресурсах під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру, що є просторово-розподіленою. Дана задача вирішується за рахунок розміщення на границі зони надзвичайної ситуації певної кількості тимчасових мобільних центрів допомоги визначеної потужності.

3. Розроблений організаційно-технічний метод формування ресурсного забезпечення етапів реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів, на основі реалізації сценарного підходу. В рамках сценарного підходу визначені можливі алгоритми дії територіальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій з ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та відповідні обсяги ресурсного забезпечення оперативно-рятувальних робіт. При цьому невизначеність в завданні вхідних параметрів сценарію опрацьовується на основі нечітко-множинного підходу і кожен сценарій є детермінованою реалізацією на основі оптимізаційної моделі ресурсного забезпечення. Проведено алгоритмічну реалізацію організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Для цього розроблено

алгоритм розв'язання задачі визначення параметрів оптимального розміщення множини мобільних центрів допомоги на дискретній множині припустимих значень, а також алгоритм розв'язання задачі визначення множини оптимальних шляхів транспортування ресурсів.

4. Розроблено пропозиції щодо інформаційного забезпечення реалізації організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Визначено залежність ефективності проведення рятувальних операцій від стану транспортної мережі зони надзвичайних ситуацій внаслідок вибухів на арсеналах, складах боєприпасів. Побудовано апаратно-програмний комплекс визначення множини сценаріїв розвитку потенційної надзвичайної ситуації, що уможливорює створення інформаційного середовища прийняття ефективного управлінського рішення щодо плану реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів. Наведено особливості чисельного моделювання та доведено достовірність організаційно-технічного методу послідовно за кроками його реалізації. Визначені характеристики та параметри розподілу вхідних даних, наведені результати чисельних експериментів щодо побудови множини сценаріїв на прикладі надзвичайних ситуацій, пов'язаних з вибухами на складах боєприпасів у м. Балаклія Харківської області 23 березня 2017 р. та у с. Новобогданівка Запорізької області 06 травня 2004 р. Достовірність розроблених математичних та імітаційних моделей та розробленого на цій основі організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування забезпечено використанням достовірних вихідних даних, що отримані за результатами теоретичних і експериментальних досліджень; обґрунтованим вибором основних допущень.

Практичне застосування організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів та введення у практику рятувальних робіт мобільних центрів допомоги дозволило на певних кроках реалізації методу знизити

загальний час доставки вантажів – на 30,2 % та загальний час евакуації постраждалого населення – на 55 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 24.03.2004 № 368 «Порядок класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/368-2004-%D0%BF>. (дата звернення: 15.06.2020).
2. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. (дата звернення: 09.09.2019).
3. Державна служба України з надзвичайних ситуацій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/>. (дата звернення: 07.11.2019).
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 30.09.2015 № 775 «Про затвердження Порядку створення та використання матеріальних резервів для запобігання і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/775-2015-%D0%BF#Text>. (дата звернення: 20.06.2020).
5. Popov V. M., Novozhylova M. V., Chub I. A. Modeling the optimal structure for territorial technogenic safety system. Econtechmod. 2015. No 3. P. 79–84.
6. Попов В. М., Чуб І. А., Новожилова М. В. Модель адаптивної системи техногенної безпеки регіона. Системи управління, навігації та зв'язку. 2013. Вип. 2(26). С. 120–123.
7. Бобало Ю. Я. та ін. Моніторинг об'єктів в умовах апріорної невизначеності джерел інформації. Львів: Дрогобич: Коло, 2015. 359 с.
8. Комяк В. М., Соболев О. М., Кравців С. Я., Чуб І. А. Моделювання покриття опуклими багатокутниками заданої області з дискретними елементами. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2018. № 3(2). С. 147–152.
9. Новожилова М. В., Литвиненко Є. М. Динамічна модель оптимізації

транспортних витрат з урахуванням невизначеності термінів доставки. *Радіоелектроніка та інформатика*. 2016. № 1. С. 27–31.

10. Кочін І. В., Гайволя О. О., Хандога Е. В., Протас С. В., Ланкмілер Т. В., Сидоренко П. І., Акулова О. М., Трошин Д. О., Шило І. Ф. Логістика як сучасна парадигма оптимізації організації ресурсного забезпечення державної служби медицини катастроф України при наданні екстреної медичної допомоги. *Україна. Здоров'я нації*. 2014. № 4 (32). С. 83–89.

11. Khorsi M., Bozorgi-Amiri A., Ashjari B.A. Nonlinear Dynamic Logistics Model for Disaster Response under Uncertainty. *Journal of mathematics and computer Science*. 2013. № 7. P. 63–72.

12. Tzeng, Gwo-Hshiung, Cheng, Hsin-Jung, Huang, Tsung Dow. Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E. Logistics and Transportation Review*, Elsevier. 2007. № 43(6). P. 673–686.

13. Sheu J.-B. Challenges of emergency logistics management. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*. 2007. № 43(6). P. 655–659.

14. Чуб І. А., Гудак Р. В., Михайловська Ю. В. Оптимізація транспортних витрат при ліквідації просторово-розподіленої надзвичайної ситуації. *Інформаційні технології в міському просторі: монографія / ред. М. В. Новожилова*. Харків: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2019. Розділ 12. С. 253–273.

15. Новожилова М. В., Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Формалізація задачі ресурсного забезпечення ліквідації техногенної надзвичайної ситуації. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2017. № 25. С. 153–158.

16. Новожилова М. В., Чуб І. А., Гудак Р. В., Михайловська Ю. В. Розв'язання задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації надзвичайних ситуацій. *Радіоелектроніка та інформатика*. Харків, 2019. 1(84). № 1. С. 64-70.

17. Новожилова М. В., Чуб О. І., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В.,

Мележик Р. С. Розробка ієрархічної стратегії підвищення рівня техногенної безпеки території. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2019. № 2(30). С. 164–175.

18. Новожилова М. В., Михайловська Ю. В. Розробка організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2020. № 2(32). С. 56–71.

19. Чуб І. А., Новожилова М. В., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В. Моделювання задачі розміщення ресурсів для ліквідації надзвичайної ситуації. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. Budapest, Hungary, 2019. VII(26). Issue 215. P. 32–35.

20. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Аналіз статистичних і динамічних моделей ресурсного забезпечення задачі мінімізації наслідків надзвичайної ситуації. Профілактика, попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій: збірник матеріалів наук.-практ.семінару, м. Харків, НУЦЗУ, 19 квітня 2017 р. Харків, 2017. С. 156–158.

21. Новожилова М. В., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В. Моделювання розподілу ресурсів при ліквідації надзвичайної ситуації. Інформаційні системи та технології ІСТ-2017: матеріали 6-ї Міжнар. наук.-практ. конф., м. Коблево, 11–16 вересня 2017 р. Харків, 2017. С. 70–71.

22. Чуб І. А., Михайловська Ю. В., Мележик Р. С. Прогнозування ресурсного забезпечення ліквідації техногенної надзвичайної ситуації. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 19 Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ: ІДУЦЗ, 10 – 11 жовтня 2017 р. Київ, 2017. С. 469–472.

23. Михайловська Ю. В. Оптимізація ресурсів системи техногенної безпеки регіону у режимі техногенної надзвичайної ситуації. Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, м. Харків, НУЦЗУ, 01 березня 2018 р. Харків, 2018. С. 347.

24. Чуб І. А., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В. Визначення структури сил ліквідації надзвичайної ситуації на основі розв'язання задачі про покриття. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля, 18 – 19 травня 2018 р., м. Черкаси, 2018. С. 217–218.

25. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Моделювання обсягів ресурсів щодо ліквідації надзвичайних ситуацій в умовах невизначеності: Інформаційні системи та технології ІСТ-2018: матеріали 7-ї Міжнар. наук.-практ. конф., м. Коблево, 10–15 вересня 2018 р. Харків, 2018. С. 267–269.

26. Новожилова М. В., Чуб О. І., Михайловська Ю. В. Моделювання параметрів логістичної інфраструктури території в умовах ліквідації надзвичайних ситуацій. Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: тези доп. ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, ЗНТУ, 03–05 жовтня 2018 р. Запоріжжя, 2018. С. 259–260.

27. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Розподіл ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації як задача про покриття. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 20 Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ: ІДУЦЗ, 9–10 жовтня 2018 р. Київ, 2018. С. 479–481.

28. Чуб И. А., Новожилова М. В., Михайловская Ю. В., Гудак Р. В. Структурная идентификация задачи ресурсного обеспечения ликвидации последствий чрезвычайной ситуации в условиях неопределенности. Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., г. Кишинев, Республика Молдова, АТИК, 12–16 ноября 2018 р. г. Кишинев, 2018. С. 394–397.

29. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Ієрархічна стратегія підвищення рівня техногенної безпеки території району. Topical issues of the development of modern science: тези доповідей I Міжнар. наук.-практ. конф., м. Софія,

18–20 вересня 2019 р., м. Софія, Болгарія, 2019. С. 249–254.

30. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Підвищення рівня техногенної безпеки регіону в умовах обмеженого ресурсного забезпечення. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 21 Всеукр. наук.-практ. конф. (за міжнар. участю), м. Київ, ІДУЦЗ, 16 жовтня 2019 р. Київ, 2019. С. 304–305.

31. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками. Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням: матеріали круг. столу, м. Харків, НУЦЗУ, 24 жовтня 2019 р. Харків, 2019. С. 132–134.

32. Мележик Р. С., Михайловська Ю. В. Проектування системи підтримки прийняття рішень з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру Інформаційні технології: Теорія і практика: тези доповідей III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. здобув. вищої освіти і молодих учених, м. Харків, ХНУМГ імені О.М. Бекетова 10–13 червня 2020 р. м. Харків, 2020. С. 72.

33. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2017 році. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту ДСНС України. 2018.

34. Наказ МВС України № 658 від 06.08.2018 «Про затвердження Класифікаційних ознак надзвичайних ситуацій» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0969-18#Text>. (дата звернення 15.06.2020).

35. Національний класифікатор України. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. Київ, Держспоживстандарт. 2010. С. 4.

36. Наказ МНС України № 685 від 05.10.2007 «Методичні рекомендації «Організація управління в надзвичайних ситуаціях». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cz.nuczu.edu.ua/images/topmenu/kafedry/kafedra-orhanizatsii-ta-tekhnichnoho-zabezpechennia-avariino-riatuvalnykh-robot/1737/>

Metodrekomendaciji_OUNS-2007.pdf (дата звернення 15.06.2020).

37. Постанова КМУ «Про затвердження Порядку проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій № 841 від 30.10.2013». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/841-2013-п#Text>. (дата звернення 15.06.2020).

38. Наказ МВС України № 579 від 10.07.2017 «Про затвердження Методики планування заходів з евакуації». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0938-17#Text>. (дата звернення 15.06.2020).

39. Методичні рекомендації щодо розроблення планів з питань цивільного захисту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.yu.mk.ua/uploads/files/2019/3/15/content/6642f23ece9933cd5ce4eaade39e5c41.pdf> (дата звернення 15.06.2020).

40. Наказ МВС України № 579 від 19.07.2017 «Про організацію та проведення аеромедичної евакуації повітряними суднами Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Національної гвардії України та Державної прикордонної служби України». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0285-18#Text>. (дата звернення 15.06.2020).

41. NATO Research and Technology Organization / 2009 Technical Report No RTO-MP-HFM-157. Aeromedical Evacuation. Erich Roedig, Brig. Gen. Ret. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.transfair.fr/casestudies/AE-roedig.pdf>. (дата звернення 20.06.2020).

42. Статистика взрывов складов боеприпасов в странах мира. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://yvision.kz/post/835752>. (дата звернення 15.06.2020).

43. Взрывы на складах боеприпасов в Украине. История катастроф. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://protocol.ua/ua/vzrivi_na_skladah_boeprпасov_v_ukraine_istoriya_katastrof. (дата звернення 15.06. 2020).

44. На Украине в результате пожара снаряды "Град" рвутся в 4 украинских селах: много жертв. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://www.newsru.com/world/06may2004/skladi.html>. (дата звернення 15.06.2020).

45. 19 августа 2006 года близ села Новобогдановка Запорожской области в третий раз взорвались склады с боеприпасами. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fakty.ua/137955-19-avgusta-2006-goda-bliz-sela-novobogdanov-ka-zaporozhskoj-oblasti-v-tretij-raz-vzorvalis-sklady-s-boepripasami>. (дата звернення 10.06.2020).

46. Вибух військового арсеналу у м. Лозова (Харківська обл., 2008 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://extrpsy.nuczu.edu.ua/Lozova2008>. (дата звернення 10.06.2020).

47. Державна цільова екологічна програма ліквідації наслідків надзвичайної ситуації на території військової частини А0829 (м. Лозова Харківської області) на 2011–2013 роки: постанова Кабінету Міністрів України від 9 березня 2011 р. № 237. Офіційний вісник України. 2011. № 19. С. 15.

48. Інформація щодо заходів з ліквідації наслідків вибухів на військових складах 29 жовтня 2015 року у Сватовому [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://loga.gov.ua/oda/press/news/informaciya_shchodo_zahodiv_z_likvidaciyi_naslidkiv_vibuhiv_na_viyskovih_skladah_29 (дата звернення 15.06.2020).

49. Вибух на арсеналі в Балаклії: головне. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/Пожежа_на_складі_боєприпасів_у_Балаклії. (дата звернення 10.06.2020).

50. Пожежа на складі боеприпасів у Калинівці. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/Пожежа_на_складі_боєприпасів_у_Калинівці. (дата звернення 11.06.2020).

51. НП під Ічнею: Кабмін виділить 100 млн грн на ліквідацію наслідків. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unn.com.ua/uk/news/1756759-np-pid-ichneyu-kabmin-vidilit-100-mln-grn-na-likvidatsiyu-naslidkiv>

52. Іванов Є. В., Васюков О. Є. Деякі закономірності вибухів боєприпасів на 61-му арсеналі Південного ОКСВ у м. Лозова в серпні 2008 року. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2011. Вип. 14. С. 77-83.

53. Опасные склады: растущая гуманитарная проблема. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rasrinitiative.org/pdfs/Dangerous-Depots-Factsheets-Russian.pdf>. (дата звернення 23.06.2020).

54. Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру: постанова КМУ № 175 від 15.02.2002. Офіційний вісник України. 2002. № 8. С. 170.

55. Хлобистов Є.В., Жарова Л.В., Волошин С.М. Методичні підходи до оцінки наслідків надзвичайних ситуацій: порівняльний аналіз української та міжнародної практик. Механізм регулювання економіки. 2009. № 4. С. 24–33.

56. Иванов Е.В., Лобойченко В.М., Артемьев С.Р., Васюков А.Е. Чрезвычайные ситуации со взрывами боеприпасов: закономерности возникновения и протекания. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. № 1/10 (79). С. 26–35.

57. Asli Sebatli, Fatih Cavdur, Merve Kose-Kucuk Determination of relief supplies demands and allocation of temporary disaster response facilities. Transportation Research Procedia. 2017. №22. С. 245–254.

58. Irineu de Brito, Junior Adriana Leiras, Hugo Tsugunobu Yoshida, Yoshizaki Stochastic. Optimization applied to the pre-positioning of disaster relief supplies in Brazil. Conference Paper August 2015 Conference: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2015, Porto de Galinhas, PE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/303939071>. (дата звернення 15.06.2020).

59. Ming Liu and Lindu Zhao. A Collaboration Model for Multi-level Emergency Rescue Networks. POMS 19th Annual Conference La Jolla, California, U.S.A. May 9 to May 12, 2008. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.525.5104> pdf. (дата звернення 15.06.2020).

60. Xiang Li, Yongjian Li. A Model on Emergency Resource Dispatch under Random Demand and Unreliable Transportation Systems. *Engineering Procedia*. 2012. №5. P. 248 – 253.
61. Gwo-Hshiung Tzeng, Hsin-Jung Cheng, Tsung Dow Huang. Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2007. №. 43(6). P. 673-686
62. Wei Wang, Li Huang and Zhaoxia Guo. Optimization of emergency material dispatch from multiple depot locations to multiple disaster sites. *Sustainability*. 2017. №9. P. 1978-1991.
63. Zheng, Y.-J., & Ling, H.-F. Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: a cooperative fuzzy optimization approach. *Soft Computing*. 2012. №17(7). P. 1301–1314.
64. Min-Xia Zhang, Bei Zhang and Yu-Jun Zheng. Bio-Inspired Meta-Heuristics for Emergency. *Transportation Problems Algorithms*. 2014. №7. P. 15-31.
65. Back T. *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: Evolution Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Algorithms*; Oxford University Press: Oxford. UK. 1996.
66. Yu-Jun Zhenga, Sheng-Yong Chen, Hai-Feng Ling. Evolutionary optimization for disaster relief operations: A survey. *Applied Soft Computing*. 2015. №27. P. 553–566.
67. Kennedy J.F., Eberhart R.C., Shi Y. *Swarm Intelligence*; Morgan Kaufmann: San Francisco, CA, USA, 2001
68. Ana Paula Iannoni, Reinaldo Morabito. A multiple dispatch and partial backup hypercube queuing model to analyze emergency medical systems on highways. *Transportation Research Part E*. 2007. №43. P. 755–771.
69. Chiyoshi F., Iannoni A.P., Morabito R. A tutorial on hypercube queueing models and some practical applications in Emergency Service Systems. *Pesquisa Operacional*. 2011. № 31(2). P. 271–299.

70. Zou N., Yeh S.T., Chang G.L., Marquess A., Zezeski M. Simulation-based emergency evacuation system for Ocean City, Maryland, during hurricanes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1922. 2005. P. 138-148.

71. Georgiadou P.S., Papazoglou I.A., Kiranoudis C.T., Markatos N.C. Modeling emergency evacuation for major hazard industrial sites. *Reliability Engineering & System Safety*. 2007. № 92(10). P. 1388–1402.

72. Chen, X., Zhan, F. B., Agent-based modelling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies. *Journal of the Operational Research Society*. 2008. № 1. P. 25-33.

73. Chiu, Y.C., Mirchandani, P.B. Online behavior-robust feedback information routing strategy for mass evacuation. *Intelligent Transportation Systems: IEEE Transactions on*. 2008. № 9(2). P. 264–274.

74. Albores P., Shaw D. Government preparedness: Using simulation to prepare for a terrorist attack. *Computers & Operations Research*. 2008. № 35(6). P. 1924-1943.

75. Lee Y.M., Ghosh S., Ettl M. Simulating distribution of emergency relief supplies for disaster response operations. *Winter Simulation Conference*. 2009. P. 2797-2808.

76. Rawls C.G., Turnquist M.A. Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. *Transportation research part B: Methodological*. 2010. № 44(4). P. 521-534.

77. Gormez N., Koksalan M., Salman F.S. Locating disaster response facilities in Istanbul. *Journal of the Operational Research Society*. 2011. № 62(7). P. 1239–1252.

78. Rawls C.G., Turnquist M.A. Pre-positioning planning for emergency response with service quality constraints. *OR spectrum*. 2011. № 33(3). P. 481–498.

79. Murali P., Ordonez F., Dessouky M.M. Facility location under demand uncertainty. Response to a large-scale bio-terror attack: Socio-Economic Planning Sciences. 2012. № 46(1). P. 78–87.

80. Salman F.S., Gul S. Deployment of field hospitals in mass casualty incidents. Computers & Industrial Engineering. 2014. № 74. P. 37–51.

81. Kilci F., Kara B.Y., Bozkaya B. Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey: European Journal of Operational Research. 2010. № 243(1). P. 323–332.

82. Guojun Ji, Caihong Zhu. A Study on Emergency Supply Chain and Risk Based on Urgent Relief Service in Disasters. Systems Engineering Procedia. 2012. № 5. P. 313 – 325.

83. Liberatore F., Review A., Pizarro C., Simón de Blas C. Uncertainty in Humanitarian Logistics for Disaster Management. Atlantis Computational Intelligence Systems. 2013 .№ 7. P. 45–74.

84. Van Wassenhove L.N. Humanitarian aid logistics. Supply chain management in high gear. Journal of Operational Research Society. 2006. № 57(5). P. 475–489.

85. Смирнов І.Г. Логістика. Просторово-територіальний вимір. Київ: Обрії, 2004. С. 335.

86. Chiu Yi-Ch., Zheng H. Real-time mobilization decisions for multi-priority emergency response resources and evacuation groups: Model formulation and solution. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2007. № 43(6). P. 710–736.

87. Barbarosoglu G., Arda Y. A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. Journal of the operational research society. 2004. № 55(1). P. 43–53.

88. Yi W., Ozdamar L., A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. European Journal of Operational Research. 2007. № 179(3). P. 1177–1193.

89. Natarajathinam M., Capar I., Narayanan A. Managing supply chains in times of crisis: a review of literature and insights. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2009. № 39(7). P. 535–573.

90. Nagurney A., Yu M., Qiang, Q. Supply chain network design for critical needs with outsourcing. *Papers in Regional Science*. 2011. № 90(1). P. 123–142.

91. Ozdamar L., Demir O. A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2012. № 48(3). P. 591–602.

92. Методична розробка щодо проведення практичного заняття. Розділ 3. «Тактична і тактико-спеціальна підготовка». Модуль ТСП 03.02. «Військова топографія». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/kafedry/kafedra-viiskovoi-pidhotovky/vt/Zanytie_1_7.pdf. (дата звернення 10.06.2020).

93. Барило О.Г. Зарубіжний досвід створення інформаційно-аналітичної системи цивільного захисту. *Вісник Національного університету цивільного захисту України. Серія «Державне управління»*. 2017. Вип. 2(7). С. 387–395.

94. Vademecum – Civil Protection [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Європейської комісії. – Режим доступу: http://ec.europa.eu/echo/files/civil_protection/vademecum (дата звернення 15.06.2020).

95. Moreno A., Alem D., Ferreira D., Clark A. An effective two-stage stochastic multi-trip location-transportation model with social concerns in relief supply chains. *European Journal of Operational Research*. 2018. № 269. P. 1050–1071

96. Постанова Кабінету Міністрів України № 18 від 26.01.2011 р. «Про Державну комісію з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій»: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/18-2015-%D0%BF#Text> (дата звернення 11.06.2020).

97. Порядок організації застосування пересувного пункту управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Наказ ДСНС 20.08.2019

№ 474. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/97966.html> (дата звернення 11.06.2020).

98. Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж. Наказ МВС України від 26.04.2018 № 340. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE32253Z.html (дата звернення 11.06.2020).

99. Бурков В.Н., Грищенко А.Ф., Кулик О.С. Задачи оптимального управления промышленной безопасностью. М.: ИПУ РАН, 2000. 70 с.

100. Попов В.М. Моделирование состояния устойчивости производственной системы. Системи обробки інформації. 2015. Вип. 3(128). С.147–151.

101. Попов В.М. Чуб І.А., Новожилова М.В. Моделирование характеристик потока отказов основных производственных фондов объектов повышенной опасности. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2015. Вип. 21. С. 93–98.

102. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М. Мир, 1976. 342 с.

103. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. М. Финансы и статистика. 2004. 320 с.

104. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2016 році. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту ДСНС. 2017.

105. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Физматлит, 2001. 224 с.

106. Громико Н. К. Сценарний підхід у стратегічному плануванні соціально-економічного розвитку регіону. Моделювання регіональної економіки. 2011. № 1. С. 329–337.

107. Переверза К.В. Методологія побудови сценаріїв розвитку складних соціальних систем із використанням морфологічного та swot-аналізу. Системні дослідження та інформаційні технології. 2012. № 4. С. 124–137.
108. Kelle P., Schneider H., Yi H. Decision alternatives between expected cost minimization and worst case scenario in emergency supply. *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 157. P. 250–260.
109. Sebatli A., Kose-Kucuk M., Cavdur F. Determination of relief supplies demands and allocation of temporary disaster response facilities. *Transportation Research Procedia*. 2017. № 22. P. 245–254.
110. Zheng Y.J., Ling H.F. Emergency transportation planning in disaster relief supply chain management: A cooperative fuzzy optimization approach. *Soft Comput.* 2013. № 17. P.1301–1314.
111. Zhang M.-X., Zhang B., Zheng Yu.-J. Bio-Inspired Meta-Heuristics for Emergency Transportation Problems. *Algorithms*. 2014. № 7. P. 15-31.
112. Berkoune D., Renaud J., Rekik M. Transportation in disaster response operations. *Soc. Ecol. Plan. Sci.* 2012. № 46. P. 23–32.
113. Caufmann A. *Introduction a la theorie des sous-ensembles flus*. Masson:Paris-NewYork-Barcelona-Milan, 1977.
114. Чуб І. А., Новожилова М. В. Геометричне моделювання основних обмежень на параметри розміщення об'єктів зі змінними метричними характеристиками. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2009. Вип. 4. Т. 42. С. 77–85.
115. Мурин М. Н., Чуб І. А., Новожилова М. В. Математическое обеспечение решения задачи размещения прямоугольников с изменяемыми метрическими характеристиками. *Системи обробки інформації*. 2012. Вип. 7 (105). С. 195–199.
116. Антошкин А. А. Комяк В. М., Романова Т. Е., Шеховцов С. Б. Особенности построения математической модели задачи покрытия в системах автоматической противопожарной защиты. *Радиоэлектроника и*

информатика. 2001. Вып. 1. С. 75–78.

117. Антошкин, А. А., Романова Т.Е. Математическая модель задачи покрытия выпуклой многоугольной области кругами с учетом погрешностей исходных данных. Проблемы машиностроения. 2002. № 5. С. 56–60.

118. Романова Т. Е., Кривуля А. В., Злотник М. В. Математическая модель и метод решения задачи покрытия многоугольной области прямоугольными объектами. Проблемы машиностроения. 2008. №3. С. 58–68.

119. Киселева, Е. М., Лозовская Л. И., Тимошенко Е. В. Решение непрерывных задач оптимального покрытия шарами с использованием теории оптимального разбиения множеств. Кибернетика и системный анализ. 2009. № 3. С. 98–117.

120. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. М. Наука, 1976. 543 с.

121. Федак І. В. Функціональний аналіз. Івано-Франківськ: Сімік, 2011. 120 с.

122. Стоян Ю. Г., Яковлев С. В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Киев. Наукова думка. 1986. 320 с.

123. Петров Е. Г., Новожилова М. В., Гребеннік І. В. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах. Київ, Техніка. 2004. 256 с.

124. Гуляницький Л. Ф., Мулева О. Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. Київ, Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2016. 142 с.

125. Любінський А. С. Сучасний стан та перспективи модернізації системи цивільного захисту України. Ефективність державного управління. 2015. Вип. 43. С. 104–109.

126. Барило О. Г., Потеряйко С. П., Тищенко В. О. Інформаційне забезпечення органів державного управління у надзвичайних ситуаціях. Науковий вісник Академії муніципального управління. 2013. № 4. С. 77–84.

127. Левтеров О. А., Шевченко Р. І. Апаратно-програмна реалізація сучасних підходів з попередження надзвичайних ситуацій природного характеру. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2019. № 1(29). С. 47 – 61.
128. Клименко Н. Г. Зарубіжний досвід функціонування систем державного управління в умовах надзвичайних ситуацій та основні тенденції їх подальшого розвитку. Збірник наукових праць НАДУ. 2007. Вип. 1. С. 26–40.
129. Костенко В. В. Модернізація державної системи цивільного захисту в контексті європейської інтеграції України. Державне управління та місцеве самоврядування. 2013. Вип. 4(19). С. 111–117.
130. В Украине в прошлом году было отремонтировано только 1 % дорог | УНИАН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: economics.unian.net/transport/1800341 (дата звернення: 15.04.2020).
131. В Украине больше половины мостов находятся в аварийном состоянии – Омелян [Електронний ресурс]. – Режим доступу: economics.unian.net/transport/1802866 (дата звернення: 15.04.2020).
132. Quality of road infrastructure [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2018/competitiveness-rankings/#series=EOSQ057>. (дата звернення: 15.04.2020).
133. Державне агентство автомобільних доріг України «Укравтодор». Інтерактивна карта ремонту доріг [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://map.ukravtdor.org/#/>.(дата звернення: 15.04.2020).
134. WHO technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies, Technical note 9: how much water is needed in emergencies, 2011. World Health Organization / Water Engineering Development Centre.
135. Мацяшек Л. Анализ и проектирование информационных систем с помощью UML. М.: Вильямс, 2016, 860 с.
136. С++Builder. Интернет учебник для всех. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cubook.pro/chto-zhe-takoe-cbuilder>. (дата звернення: 15.03.2020).

ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії:

1. Чуб І. А., Гудак Р. В., **Михайловська Ю. В.** Оптимізація транспортних витрат при ліквідації просторово-розподіленої надзвичайної ситуації. Інформаційні технології в міському просторі: монографія / ред. М. В. Новожилова. Харків: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2019. Розділ 12. С. 253–273.

Здобувачу особисто належить теоретико-множинний опис логістичної системи, введення ієрархії взаємозалежних оптимізаційних задач розміщення та маршрутизації в структурі задачі оптимізації транспортних витрат.

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

2. Новожилова М. В., Чуб І. А., **Михайловська Ю. В.** Формалізація задачі ресурсного забезпечення ліквідації техногенної надзвичайної ситуації. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2017. № 25. С. 153–158. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить побудова та аналіз узагальненої детермінованої математичної моделі оптимізації ресурсів територіальної системи техногенної безпеки як логістичної системи.

3. Новожилова М. В., Чуб І. А., Гудак Р.В., **Михайловська Ю. В.** Розв'язання задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації надзвичайних

ситуацій. *Радіоелектроніка та інформатика*. Харків, 2019. – 1(84). № 1. С. 64–70. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar).

Здобувачу особисто належить опис задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру як задачі логістики катастроф, обґрунтування алгоритму зведення задачі покриття до задачі розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками.

4. Новожилова М. В., Чуб О. І., **Михайловська Ю. В.**, Гудак Р. В., Мележик Р. С. Розробка ієрархічної стратегії підвищення рівня техногенної безпеки території. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2019. № 2(30). С. 164–175. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить розробка оптимізаційної математичної моделі та методу розв'язання задачі підвищення рівня техногенної безпеки регіону в межах програми розвитку територіальної системи техногенної безпеки з урахуванням її ієрархічної структури.

5. Новожилова М. В., **Михайловська Ю. В.** Розробка організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2020. № 2(32). С. 56–71. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить побудова структури організаційно-технічного методу формування ресурсного забезпечення реагування на надзвичайні ситуації.

***Статті у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку,
з якого підготовлено дисертацію:***

6. Чуб І. А., Новожилова М. В., **Михайловська Ю. В.**, Гудак Р. В.

Моделювання задачі розміщення ресурсів для ліквідації надзвичайної ситуації. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. Budapest, Hungary, 2019. VII(26). Issue 215. P. 32–35. (Видання включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar).

Здобувачу особисто належить постановка задачі розміщення ресурсів для ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру як задачі розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками, введення алгоритму розв'язання задачі розміщення ресурсів.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Аналіз статистичних і динамічних моделей ресурсного забезпечення задачі мінімізації наслідків надзвичайної ситуації. Профілактика, попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій: збірник матеріалів наук.-практ.семінару, м. Харків, НУЦЗУ, 19 квітня 2017 р. Харків, 2017. С. 156–158. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить класифікація особливостей ресурсного забезпечення задачі мінімізації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру, опис характеристик та представлення їх як векторних величин з множиною упорядкованих параметрів невизначеності.

8. Новожилова М. В., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В. Моделювання розподілу ресурсів при ліквідації надзвичайної ситуації. Інформаційні системи та технології ІСТ-2017: матеріали 6-ї Міжнар. наук.-практ. конф., м. Коблево, 11–16 вересня 2017 р., Харків, 2017. С. 70–71. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить проведення декомпозиції моделі визначення необхідних ресурсів щодо локалізації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру на три взаємопов'язані підзадачі, опис

основних величин задач.

9. Чуб І. А., Михайловська Ю. В., Мележик Р. С. Прогнозування ресурсного забезпечення ліквідації техногенної надзвичайної ситуації. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 19 Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ: ІДУЦЗ, 10–11 жовтня 2017 р. Київ, 2017. С. 469–472. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить розробка принципів декомпозиції прогнозної моделі ресурсного забезпечення для ліквідації надзвичайних ситуацій на стратегічному рівні та рівні оперативного планування.

10. Михайловська Ю. В. Оптимізація ресурсів системи техногенної безпеки регіону у режимі техногенної надзвичайної ситуації. Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, м. Харків, НУЦЗУ, 01 березня 2018 р. Харків, 2018. С. 347. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить опис множини критеріїв ефективності функціонування територіальної системи техногенної безпеки, побудова узагальненої моделі оптимізації ресурсів системи техногенної безпеки.

11. Чуб І. А., Михайловська Ю. В., Гудак Р. В. Визначення структури сил ліквідації надзвичайної ситуації на основі розв'язання задачі про покриття. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля, 18–19 травня 2018 р., м. Черкаси, 2018. С. 217–218. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить реалізація сценарного підходу для вирішення задачі стратегічного планування процесу розподілу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації, опис алгоритму дій територіальних служб з надзвичайних ситуацій.

12. Чуб І. А., Михайловська Ю. В. Моделювання обсягів ресурсів щодо ліквідації надзвичайних ситуацій в умовах невизначеності: Інформаційні системи та технології ІСТ-2018: матеріали 7-ї Міжнар. наук.-

практ.конф., м. Коблево, 10–15 вересня 2018 р. Харків, 2018. С. 267–269. (Форма участі– заочна).

Здобувачу особисто належить структурна ідентифікація характеристик та локацій можливої надзвичайної ситуації техногенного характеру, опис підходу для формалізації якісних та кількісних характеристик інформації.

13. Новожилова М. В., Чуб О. І., **Михайловська Ю. В.** Моделювання параметрів логістичної інфраструктури території в умовах ліквідації надзвичайних ситуацій. Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: тези доп. ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, ЗНТУ, 03–05 жовтня 2018 р. Запоріжжя, 2018. С. 259–260. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить формалізація нечітких множин вхідних та вихідних змінних задачі оптимізації територіальної логістичної інфраструктури, побудова нечіткої бази знань щодо визначення рівня потреби у ресурсах.

14. Чуб І. А., **Михайловська Ю. В.** Розподіл ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації як задача про покриття. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 20 Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ: ІДУЦЗ, 9–10 жовтня 2018 р. Київ, 2018. С. 479–481. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить побудова оптимізаційної моделі планування процесів розподілу та зберігання необхідного обсягу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру на певній території.

15. Чуб И. А., Новожилова М. В., **Михайловская Ю. В.**, Гудак Р. В. Структурная идентификация задачи ресурсного обеспечения ликвидации последствий чрезвычайной ситуации в условиях неопределенности. Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., г. Кишинев,

Республіка Молдова, АТИК, 12–16 листопада 2018 р. г. Кишинев, 2018. С. 394–397. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить класифікація типів ресурсного забезпечення, узагальнена постановка задачі оптимізації ресурсів територіальної системи цивільного захисту.

16. Чуб І. А., **Михайловська Ю. В.** Ієрархічна стратегія підвищення рівня техногенної безпеки території району. Topical issues of the development of modern science: тези доповідей I Міжнар. наук.-практ. конф., м. Софія, 18–20 вересня 2019 р., м. Софія, Болгарія, 2019. С. 249–254. (Форма – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка просторово-розподіленої задачі покриття потреби в ресурсах при ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, обґрунтовано алгоритм зведення задачі покриття до задачі розміщення геометричних об'єктів з урахуванням стану транспортних мереж території.

17. Чуб І. А., **Михайловська Ю. В.** Підвищення рівня техногенної безпеки регіону в умовах обмеженого ресурсного забезпечення. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 21 Всеукр. наук.-практ. конф. (за міжнар. участю), м. Київ, ІДУЦЗ, 08 жовтня 2019 р. Київ, 2019. С. 304–305. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить постановка двокритеріальної задачі підвищення рівня техногенної безпеки регіону, опис особливостей задачі та параметрична ідентифікація.

18. Чуб І. А., **Михайловська Ю. В.** Розміщення геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками. Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням: матеріали круг. столу, м. Харків, НУЦЗУ, 24 жовтня 2019 р. Харків, 2019. С. 132–134. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить створення наближеного методу розв'язання оптимізаційної задачі розміщення прямокутних геометричних об'єктів зі змінними метричними характеристиками.

19. Мележик Р. С., Михайловська Ю. В. Проектування системи підтримки прийняття рішень з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру Інформаційні технології: Теорія і практика: тези доповідей III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. здобув. вищої освіти і молодих учених, м. Харків, ХНУМГ імені О.М. Бекетова 10–13 травня 2020 р. м. Харків, 2020. С. 72 (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить характеристика етапів проектування системи підтримки прийняття рішень з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру, опис типів невизначеностей та їхнього впливу на процес проектування інформаційної системи.

ДОДАТОК Б**Акти впровадження результатів дослідження**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор департаменту з питань цивільного захисту, мобілізаційної та оборонної роботи Донецької обласної державної адміністрації

Ігор БОЙКО

«25» 06 2020 р.

АКТ

про впровадження матеріалів дисертаційної роботи
ад'юнкта Національного університету цивільного захисту України
Михайловської Юлії Валеріївни

Комісія в складі:

Челпих Павло Пантелійович, заступник директора департаменту –
начальник управління організації цивільного захисту населення і території;

Овчаренко Олександр Олександрович, начальник відділу організаційної
роботи, забезпечення діяльності обласної комісії ТЕБ та НС та державного
нагляду у сфері ЦЗ

склала даний акт про те, що результати дисертаційних досліджень
Михайловської Юлії Валеріївни а саме:

- оптимізаційний метод розв'язання задачі ресурсного забезпечення процесу ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, що містить оптимізацію розміщення мобільних центрів допомоги та доставки вантажів в уражену зону з урахуванням стану під'їзних шляхів та погодних умов в районі ліквідації;
- складові інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття управлінського рішення щодо оптимізації процесу ресурсного

забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та мінімізації її наслідків

були впроваджені в практичну діяльність Департаменту з питань цивільного захисту, мобілізаційної та оборонної роботи Донецької обласної державної адміністрації.

Акт не є підставою для отримання Михайловською Юлією Валеріївною винагороди з фондів Департаменту з питань цивільного захисту, мобілізаційної та оборонної роботи Донецької обласної державної адміністрації за використання результатів її дисертаційних досліджень.

Акт складений для подання у спеціалізовану вчену раду у зв'язку з захистом Михайловською Юлією Валеріївною дисертації на здобуття освітньо-наукового ступеня доктор філософії.

Заступник директора департаменту –

начальник управління організації

цивільного захисту населення і території

Павло ЧЕЛПИХ

Начальник відділу організаційної роботи,

забезпечення діяльності обласної комісії

ТЕБ та НС та державного нагляду у сфері ЦЗ

Олександр ОВЧАРЕНКО

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Головного управління
ДСНС України у Харківській області

Олександр ВОЛОБУЄВ

10 _____ 2020 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження
«Підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації внаслідок
вибухів боєприпасів шляхом оптимізації ресурсного забезпечення»
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
МИХАЙЛОВСЬКОЇ Юлії Валеріївни

Комісія в складі:

- начальник управління запобігання надзвичайним ситуаціям
Головного управління ДСНС України у Харківській області Сергій
КОЛОСОВСЬКИЙ;

- начальник управління організації заходів цивільного захисту
Головного управління ДСНС України у Харківській області Андрій БАБЕНКО
склала даний акт про те, що результати дисертаційних досліджень Юлії
МИХАЙЛОВСЬКОЇ у вигляді:

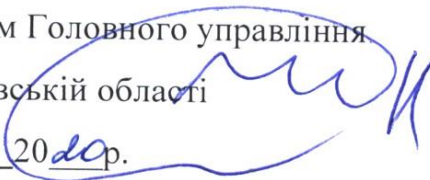
- багатокритеріальної математичної моделі ресурсного забезпечення реагування на просторово-розподілену надзвичайну ситуацію внаслідок вибухів боєприпасів на основі подання територіальної системи цивільного захисту як логістичної системи;

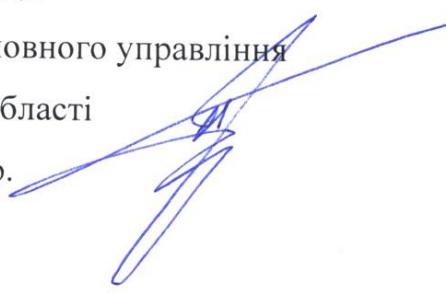
- множини частинних критеріїв ефективності використання наявних ресурсів, що визначають час, вартість доставки необхідних вантажів та рівень задоволення потреби населення зони ураження щодо предметів життєзабезпечення за умови обмеженості ресурсів,

були впроваджені в практичну діяльність Головного управління ДСНС України у Харківській області при оптимізації процесу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру і мінімізації їх наслідків та визначенні обсягів матеріальних резервів територіальних громад.

Акт не є підставою для отримання МИХАЙЛОВСЬКОЮ Юлією Валеріївною премій та інших винагород з фондів Головного управління ДСНС України у Харківській області за використання результатів її дисертаційних досліджень.

Акт складений для подання у спеціалізовану вчену раду у зв'язку з захистом МИХАЙЛОВСЬКОЮ Юлією Валеріївною дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – «Цивільна безпека».

Начальник управління запобігання
надзвичайним ситуаціям Головного управління
ДСНС України у Харківській області  Сергій КОЛОСОВСЬКИЙ
« 7 » _____ 10 _____ 2020 р.

Начальник управління організації
заходів цивільного захисту Головного управління
ДСНС України у Харківській області  Андрій БАБЕНКО
« 7 » _____ 10 _____ 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи
Національного університету цивільного

захисту України
кандидат психологічних наук, професор

Олег НАЗАРОВ

« 15 » _____ 10 _____ 2020 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження
«Підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів
боєприпасів шляхом оптимізації ресурсного забезпечення»
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
МИХАЙЛОВСЬКОЇ Юлії Валеріївни

Комісія у складі:

Голови комісії: начальника кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Вадима ТЮТЮНИКА;

Членів комісії:

- заступника начальника кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України, кандидата економічних наук, доцента Олександра ЯЩЕНКА;

- професора кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Олександра СОБОЛЯ

склала даний акт про те, що результати дисертаційних досліджень Юлії МИХАЙЛОВСЬКОЇ у вигляді:

- *організаційно-технічного методу розв'язання оптимізаційної задачі ресурсного забезпечення етапів реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів на основі реалізації сценарного підходу до прогнозування ресурсного забезпечення;*

- апаратно-програмного комплексу визначення множини сценаріїв розвитку потенційної надзвичайної ситуації, що уможливорює створення інформаційного середовища прийняття ефективного управлінського рішення щодо плану реагування на надзвичайні ситуації внаслідок вибухів боєприпасів

були впроваджені в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України при вивченні дисциплін «Інформаційні технології в практиці наукових досліджень» та «Природні та техногенні загрози, оцінювання небезпек».

Це дозволило підвищити ефективність навчального процесу при проектуванні середовища побудов сценаріїв стосовно розв'язання задач з мінімізації транспортних витрат при ліквідації просторово-розподілених надзвичайних ситуацій техногенного характеру, а також при викладанні моделей, методів та засобів ресурсного забезпечення локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій.

Акт не є підставою для отримання МИХАЙЛОВСЬКОЮ Юлією Валеріївною премій та інших винагород з фондів Національного університету цивільного захисту України за використання результатів її дисертаційних досліджень.

Акт складений для подання у спеціалізовану вчену раду у зв'язку з захистом МИХАЙЛОВСЬКОЮ Юлією Валеріївною дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – «Цивільна безпека».

Голова комісії:

Начальник кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту НУЦЗУ

Вадим ТЮТЮНИК

Члени комісії:

Заступник начальника кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту НУЦЗУ

Олександр ЯЦЕНКО

Професор кафедри управління та організації діяльності у сфері цивільного захисту НУЦЗУ

Олександр СОБОЛЬ

« 15 » 10 20 20р.