

Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Коваленко Роман Іванович

УДК 355.588:[614.8:621.869.88](477.54)(043)

ДИСЕРТАЦІЯ

СКРОЧЕННЯ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ ФОРМУВАНЬ НА ЛОКАЛЬНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ КУЗОВІВ-КОНТЕЙНЕРІВ

21.02.03 – цивільний захист

21 – національна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

_____ Р. І. Коваленко

Науковий керівник Калиновський Андрій Якович, кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2018

АНОТАЦІЯ

Коваленко Р.І. Скорочення часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації шляхом використання багатофункціональних кузовів-контейнерів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.02.03 «цивільний захист» (21 – національна безпека). – Національний університет цивільного захисту України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Харків, 2018.

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу в галузі цивільного захисту – удосконалено підхід до забезпечення аварійно-рятувальних формувань транспортними засобами шляхом їх оснащення багатофункціональними кузовами-контейнерами.

У процесі виконання роботи **вперше отримано наступні наукові результати:**

- розроблено математичну модель оцінки часу реагування на локальні надзвичайні ситуації аварійно-рятувальних формувань при використанні ними багатофункціональних кузовів-контейнерів, яка являє собою сукупність із чотирьох залежностей. Перша залежність визначає час реагування як добуток коефіцієнта логічного показника на суму трьох часових інтервалів. Друга залежність визначає перший часовий інтервал як залежність часу реагування від дистанції й середньої швидкості прямування, а також коефіцієнта, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху вулично-дорожньою мережею на час прямування підрозділів до місця виникнення локальних надзвичайних ситуацій. Третя залежність визначає другий часовий інтервал як залежність часу реагування від показників, які характеризують собою час, затрачений підрозділами на подолання перешкод, що спричинені фізико-географічними умовами, а також часу прямування сил та засобів з підрозділу по вулично-дорожній мережі населеного пункту до найбільш територіально віддаленої точки, яка знаходиться на кордоні відповідного

адміністративно-територіального району і відноситься до району обслуговування цього підрозділу. Четверта залежність визначає час приведення в оперативну готовність підрозділу аварійно-рятувального формування як суму часу диспетчеризації, часу збору і виїзду та часу оперативного розгортання;

- розроблено функціональну схему лабораторної установки та комплекс апаратно-програмних засобів, які реалізують запропоновану математичну модель оцінки часу реагування на локальні надзвичайні ситуації аварійно-рятувальних формувань при використанні ними багатфункціональних кузовів-контейнерів та дозволяють дослідити вплив на час реагування наступних факторів: дистанції й середньої швидкості прямування, а також коефіцієнта, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху вулично-дорожньою мережею на час прямування підрозділів до місця локальної надзвичайної ситуації; фізико-географічних умов регіону та часу на виконання інженерних заходів підрозділами аварійно-рятувальних формувань щодо підготовки маршрутів руху до місця ліквідації локальної надзвичайної ситуації; часу приведення в оперативну готовність підрозділу аварійно-рятувального формування;

- розроблено методику визначення необхідних видів та чисельності багатфункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу, яка дозволяє встановити потребу аварійно-рятувальних формувань у вказаному виді техніки з урахуванням оперативно-тактичної обстановки в їх районах виїзду.

В якості **об'єкта дослідження** було обрано процес реагування на локальні надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету дисертаційної роботи, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наведено наукову новизну та розкрито теоретичне і практичне значення отриманих результатів, а також напрями їхнього впровадження.

У **першому розділі** дисертаційної роботи проведено аналіз форм і методів скорочення часу реагування підрозділів аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації. За результатами аналізу вітчизняних та зарубіжних

публікацій фахівців у галузі цивільного захисту було встановлено, що під терміном «локальна надзвичайна ситуація» слід розуміти небезпечну подію, яка може бути ліквідована одним територіальним підрозділом і за площею не виходить за зону відповідальності цього підрозділу. При виникненні локальної надзвичайної ситуації важливе значення має час реагування підрозділів аварійно-рятувальних формувань, від якого залежать ймовірності загибелі і травмування населення, а також розміри матеріальних збитків. В розвинутих країнах світу, таких як США і більшість країн Євросоюзу, скорочення часу реагування на локальні надзвичайні ситуації досягається як за допомогою спеціальних технічних засобів, так і застосуванням багатофункціональних кузовів-контейнерів на одній платформі.

У **другому розділі** дисертаційної роботи було проведено дослідження особливостей реагування підрозділів аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації в Україні. Серед видів локальних надзвичайних ситуацій розглядалися: пожежі, терористичні й побутові вибухи, а також небезпечні події, пов'язані з викидами та/або розливами небезпечних хімічних і радіоактивних речовин. Для ліквідації локальних пожеж використовуються штатні пожежні машини та інші технічні засоби, які знаходяться на оснащенні підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. До ліквідації локальних надзвичайних ситуацій, пов'язаних з терористичними і побутовими вибухами та викидами і/або розливами небезпечних хімічних та радіоактивних речовин, враховуючи їх специфіку і складність, залучаються спеціальні оперативні транспортні засоби, що перебувають на оснащенні аварійно-рятувальних загонів спеціального призначення та Міжрегіонального і Спеціалізованих центрів швидкого реагування Державної служби України з надзвичайних ситуацій. На оснащенні більшості державних пожежно-рятувальних частин, які є найбільш поширеним видом аварійно-рятувальних формувань на території населених пунктів України, зазначена спеціалізована техніка не перебуває, що часом при виникненні складних локальних надзвичайних ситуацій викликає потребу в залученні необхідних видів спеціальних транспортних засобів з територіально віддалених спеціалізованих підрозділів, що є причиною значного зростання показника часу реагування. З

урахуванням закордонного досвіду було визначено, що найбільш перспективним для України, з метою скорочення часу реагування на локальні надзвичайні ситуації, є шлях створення багатофункціональних кузовів-контейнерів і оснащення ними територіальних підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи з використанням теорії множин було розроблено математичну модель оцінки часу реагування підрозділів аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації. Для розробки математичної моделі першочергово були сформовані початкові умови вирішення задачі, а потім визначені граничні умови. Після цього поступовим вирішенням задачі було проведено синтез шуканої математичної моделі. Розроблена математична модель оцінки часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації являє собою систему із чотирьох залежностей. Перша залежність визначає час реагування як добуток коефіцієнта логічного показника на суму трьох часових інтервалів. Друга залежність визначає перший часовий інтервал як залежність часу реагування від дистанції й середньої швидкості прямування, а також коефіцієнта, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху вулично-дорожньою мережею на час прямування підрозділів аварійно-рятувальних формувань до місця виникнення локальної надзвичайної ситуації. Третя залежність визначає другий часовий інтервал, який є залежністю часу реагування від показників, які характеризують собою час, затрачений підрозділами аварійно-рятувальних формувань на подолання перешкод, що спричинені фізико-географічними умовами, а також часу прямування сил та засобів з підрозділу аварійно-рятувального формування по вулично-дорожній мережі населеного пункту до найбільш територіально віддаленої точки, яка знаходиться на кордоні відповідного адміністративно-територіального району і відноситься до району обслуговування цього підрозділу. Четверта залежність визначає час приведення в оперативну готовність підрозділу аварійно-рятувального формування як суму часу диспетчеризації, часу збору і виїзду та часу оперативного розгортання. З метою отримання адекватних результатів при виконанні оцінки часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації, математичну модель було

доповнено наступними обмеженнями: чисельність автомобілів-носіїв у i -му підрозділі аварійно-рятувального формування має бути більшою або дорівнювати одиниці; чисельність кузовів-контейнерів з цільовим призначенням пожежогасіння в i -му підрозділі аварійно-рятувального формування повинна бути більшою або дорівнювати одиниці; час реагування аварійно-рятувального формування на локальні надзвичайні ситуації має бути більше нуля. Оптимізація роботи аварійно-рятувального формування може здійснюватися шляхом пошуку мінімального значення часу реагування.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи було виконано перевірку достовірності розробленої математичної моделі. Для перевірки достовірності математичної моделі оцінки часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації першочергово було обґрунтовано методику виконання чисельних експериментів, а потім розроблено функціональну схему лабораторної установки та комплекс апаратно-програмних засобів, які реалізують запропоновану математичну модель. Після цього було проведено аналіз комплексного чисельного експерименту.

Запропонована методика проведення чисельного експерименту передбачає виконання п'ятих процедур, а саме: систематизації даних, кластеризації, типізації технічних засобів, ймовірних чисельних оцінок, перерозподілу технічних засобів, що забезпечує перевірку достовірності розробленої математичної моделі.

Функціональна схема розробленої лабораторної установки складається з восьми блоків, що розміщені на восьми рівнях, пов'язаних послідовними та ієрархічними зв'язками.

З використанням розробленої лабораторної установки було проведено комплексний чисельний експеримент. Залежності, отримані за результатами проведеного комплексного чисельного експерименту, були апроксимовані рівняннями лінійної регресії, коефіцієнти яких перевірялися за критерієм Стюдента з надійністю 0,95. Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера і забезпечує коефіцієнт кореляції не нижче 0,7, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи було розроблено методику визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу, яка включає виконання трьох процедур, а саме: розрахунку показника приведеної чисельності автомобілів на виклик, визначення чисельності автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів, перерозподіл автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів по підрозділах аварійно-рятувальних формувань населеного пункту. Перед застосуванням розробленої методики необхідно спершу виконати два підготовчих етапи, а саме: проведення аналізу статистичних даних і перевірку умов застосування розробленої методики, а також визначення видів знімних кузовів-контейнерів. Дана методика дозволяє визначити види та чисельність багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів зі знімними кузовами-контейнерами для оснащення підрозділів аварійно-рятувальних формувань населеного пункту з урахуванням специфіки оперативної обстановки, яка склалася в їх районах виїзду, а також забезпечує оптимальний розподіл технічних засобів у період їх часткового технічного обслуговування і ремонту.

Практичне значення результатів дослідження полягає у тому, що розроблено методику визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу, яка дозволяє встановити потребу аварійно-рятувальних формувань у вказаному виді техніки з урахуванням оперативно-тактичної обстановки в їх районах виїзду і виконати перерозподіл засобів та оснащення для проведення пожежогасіння і аварійно-рятувальних робіт між підрозділами в межах окремого населеного пункту. Основні результати дослідження були впроваджені в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту та ГУ ДСНС України у Харківській області.

Ключові слова: час реагування, локальна надзвичайна ситуація, аварійно-рятувальне формування, аварійно-рятувальні роботи, знімний кузов-контейнер, оперативний транспортний засіб.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії:

1. Шматко О. В., **Коваленко Р. И.** Разработка программного блока, предназначенного для оптимизации размещения пожарных и аварийно-спасательных автомобилей в пожарно-спасательных подразделениях города Харькова. *Информационные технологии в управлении, образовании, науке и промышленности: монография* / ред. В. С. Пономаренко. Харьков: Издатель Рожко С. Г., 2016. Разд. 6. С. 85–98.

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, розробка другого варіанта цільової функції оптимального розміщення оперативних транспортних засобів по підрозділах аварійно-рятувальних формувань, проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів.

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

2. Ларін О. М., Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Дослідження параметрів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів міста Харкова на сучасному етапі для розробки програмного блоку «ПРОГНОЗ НС». *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. 2015. № 62 (1171). С. 77–83. (Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus та Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу процесу оперативного функціонування аварійно-рятувальних формувань міста Харкова.

3. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Оцінювання можливого ефекту від оснащення пожежно-рятувальних підрозділів м. Харкова багатофункціональними мобільними пожежно-рятувальними комплексами контейнерного типу. *Проблемы*

пожарной безопасности. Харьков, 2017. Вып. 41. С. 74–80. (Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародної наукометричної бази Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати оцінки можливого ефекту від оснащення аварійно-рятувальних формувань автомобілями-носіями зі знімними кузовами-контейнерами.

4. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.**, Березовський О. І. Розробка організаційної системи проведення технічного обслуговування аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу на прикладі ДПРЧ міста Харкова. *Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2017. Вип. 26. С. 56–62. (Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus та Ulrich's Periodicals).*

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, запропоноване обґрунтування системи проведення технічного обслуговування автомобілів-носіїв при обмеженій чисельності резерву оперативних транспортних засобів у підрозділах.

Статті у наукових фахових виданнях України:

5. **Коваленко Р. І.** Дослідження основних статистичних закономірностей процесу функціонування державних пожежно-рятувальних частин міста Харкова. *Проблеми пожарной безопасности. Харьков, 2016. Вып. 39. С. 129–136. (Стаття у науковому фаховому виданні України).*

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу процесу оперативного функціонування аварійно-рятувальних формувань міста Харкова, а також результати перевірки статистичних гіпотез про пуассонівський характер потоку викликів, який надходить до підрозділів.

6. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Статистичне дослідження характеру небезпечних подій, які виникають в місті Харкові. *Комунальне господарство міст*. Харків, 2017. № 135. С. 159–166. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу процесу оперативного функціонування аварійно-рятувальних формувань міста Харкова, а також результати перевірки статистичних гіпотез про пуассонівський характер потоку викликів, який надходить до підрозділів.

7. **Коваленко Р. І.** Розробка способу визначення необхідної кількості багатфункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу для комплектування транспортних засобів аварійно-рятувальних формувань. *Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека*. Київ, 2017. №2 (4). С. 40–46. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

8. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Розробка математичної моделі визначення часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації. *Пожежна безпека*. Львів, 2017. № 31. С. 43–48. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, а також розроблена математична модель визначення часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації.

9. **Коваленко Р. І.** Розробка функціональної схеми лабораторної установки для оцінювання часу реагування на локальні надзвичайні ситуації. *Комунальне господарство міст*. Харків, 2018. № 140. С. 40–45. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

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

10. Ларин А. Н., Калиновский А. Я., **Коваленко Р. И.** Проблемы использования геоинформационных технологий в пожарно-спасательных

подразделениях Украины. *Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан*. Кокшетау, 2015. № 2 (18). С. 10–15. (Стаття у закордонному науковому виданні за фахом).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу відомих геоінформаційних систем, які використовуються у діяльності аварійно-рятувальних формувань.

11. Ларин А. Н., Калиновский А. Я., **Коваленко Р. И.** Анализ путей сокращения времени прибытия пожарно-спасательных подразделений на вызов. *Чрезвычайные ситуации: образование и наука*. Гомель, 2016. Т. 11. № 1. С. 88–94. (Стаття у закордонному науковому виданні за фахом).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу шляхів скорочення часу прямування сил та засобів від місця постійної дислокації до місця ліквідації локальних надзвичайних ситуацій.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

12. Ларін О. М., Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Перспективи впровадження пожежно-рятувальних автомобілів контейнерного типу в оперативну діяльність рятувальних підрозділів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: зб. наук. праць VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Вінниця, ВНТУ, 19–21 жовтня 2015 р. Вінниця, 2015. С. 93–96. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також результати аналізу основних переваг багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу в порівнянні з пожежно-рятувальними автомобілями «класичного компонування».

13. **Коваленко Р. И.**, Калиновский А. Я. Исследование основных причин и закономерностей возникновения чрезвычайных ситуаций в больших городах на

примере міста Харкова. *Казахстан в новой глобальной реальности: рост, реформы, развитие*: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. научное обеспечение безопасной жизнедеятельности. г. Кокшетау, КТИ КЧС МВД РК, 25 марта 2016 г. Кокшетау, 2016. С. 150–153. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також результати досліджень ступеня впливу чинників, які впливають на чисельність локальних надзвичайних ситуацій, що виникають на території населених пунктів.

14. Калиновський А. Я., Шматко О. В., **Коваленко Р. І.** Використання АСУ та геоінформаційних систем в оперативній діяльності пожежно-рятувальних підрозділів. *Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії*: тези доповідей VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, ХНЕУ ім. Сємена Кузнеця, 28–29 квітня 2016 р. Харків, 2016. С. 65. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також результати аналізу відомих геоінформаційних систем, які використовуються у діяльності аварійно-рятувальних формувань.

15. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Обґрунтування необхідних типів автомобілів контейнерного типу в державних пожежно-рятувальних підрозділах міста Харкова. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 19–20 травня 2016 р. Черкаси, 2016. С. 53–55. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також запропоноване обґрунтування видів знімних кузовів-контейнерів для підрозділів аварійно-рятувальних формувань міста Харкова.

16. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Розробка механізму перерозподілу спеціальної техніки між пожежно-рятувальними підрозділами. *Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи*: зб. матеріалів наук.-практ. семінару, м. Харків, НУЦЗУ, 19 квітня 2017 р. Харків, 2017. С. 90–92. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також розроблена цільова функція перерозподілу оперативних транспортних засобів по підрозділах аварійно-рятувальних формувань з урахуванням специфіки потоку викликів, який до них надходить.

17. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Побудова концептуальної моделі функціонування транспортно-логістичної контейнерної системи постачання засобів та оснащення для проведення пожежогасіння та аварійно-рятувальних робіт. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 18–19 травня 2017 р. Черкаси, 2017. С. 41–42. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також запропонована організаційно-логічна схема контейнерної доставки спеціального оснащення та засобів пожежогасіння до місць проведення оперативних робіт.

18. **Коваленко Р. І.** Розробка методичного підходу до визначення чисельності оперативних транспортних засобів при комплектуванні ними підрозділів аварійно-рятувальних формувань. *Пожежна безпека: проблеми та перспективи*: зб. тез доповідей Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Харків, НУЦЗУ, 1–2 березня 2018 р. Харків, 2018. С. 106–108. (Форма участі – очна).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

19. **Kovalenko R. I.** Improvement of the method of determining the number and nomenclature of the park of cars in fire-related surfaces of the city at the example of the city of Kharkov. *East European Scientific Journal*. Warsaw, 2017. №9(25). Part 1. P. 48–56.

ABSTRACT

Kovalenko R.I. Reducing the response time of emergency rescue units to local emergencies using multifunctional body-containers. – Qualifying research paper, manuscript copyright.

Dissertation for the degree of a Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in specialty 21.02.03 «civil defense» (21 – national security). – National University of Civil Defense of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2018.

In the dissertation the important scientific and practical task in the field of civil defense was solved – the approach to provision of emergency rescue units with the vehicles by their equipping with multifunctional body-containers was improved.

In the course of the work, **the following scientific results were obtained at first:**

- a mathematical model for estimating the time of response to local emergency situations of emergency rescue units with the use of multifunctional body containers is developed. The model is a set of four dependencies. The first dependence defines the response time as the product of the logic coefficient to the sum of three time intervals. The second dependence defines the first time interval as the dependence of the response time on the distance and the average speed of the route, as well as the coefficient that determines the level of influence of the characteristics of the route of traffic on the road network at the time of the movement of units to the place of occurrence of local emergencies. The third dependence defines a second time interval as the dependence of the response time on the indicators that characterize the time taken by the units to overcome the obstacles caused by the physical and geographical conditions, as well as the time of the traffic forces and means from the subdivision of the highway network of the settlement to the most territorially remote point, which is located on the border of the corresponding administrative-territorial area and belongs to the service area of this unit. The fourth dependence determines the time when the subdivision of emergency rescue unit is brought

into operational readiness as the amount of scheduling time, time of collection and departure, and operational deployment time;

- a functional scheme of a laboratory installation and a complex of hardware and software tools are worked out. They implement the proposed mathematical model for assessing the response time to local emergency situations of emergency rescue units with the use of multifunctional body-containers and allow to investigate the effect of the following factors on the response time: distance and average speed of direction, as well as the coefficient, which determines the level of influence of the characteristics of the route of traffic on the road network for the time of movement of units to place of a local emergency; physical and geographical conditions of the region and time for the implementation of engineering measures by the subdivisions of emergency rescue units in relation to the preparation of the route to the place of liquidation of a local emergency; the timing of the operational readiness of the subdivision of emergency rescue unit;

- a method for determining the required types and number of multifunctional mobile emergency and rescue complexes of the container type is developed. It allows establishing the need for emergency rescue units in this type of equipment, taking into account the operational-tactical situation in their departure areas.

The process of responding to local emergencies of anthropogenic and natural character was selected as a **research object**.

The **introduction** substantiates the relevance of the chosen topic, formulates the purpose of the dissertation, defines the object, subject and methods of research, presents the scientific novelty and reveals the theoretical and practical significance of the results obtained, as well as the directions of their implementation.

The **first section** of the dissertation work represents an analysis of the forms and methods of reducing the response time of subdivisions of emergency rescue units to local emergency situations. According to the results of the analysis of domestic and foreign publications of specialists in the field of civil defense, it was established that the term «local emergency» should be understood as a dangerous event that can be eliminated by one territorial unit and beyond the area of responsibility of this unit. In the event of a local emergency situation, the response time of units of emergency rescue formations is

important, on which depends the likelihood of death and injury of the population, as well as the size of material damage. In developed countries such as the United States and most of the European Union, the reduction of response time to local emergencies is achieved both by means of special technical means and by the use of multipurpose body-containers on the same platform.

The **second section** of the dissertation represents the study of the features of response of emergency rescue units to local emergencies in Ukraine. Among the types of local emergencies there were considered: fires, terrorist and domestic explosions, as well as hazardous events associated with emissions and/or spills of hazardous chemical and radioactive substances. For the elimination of local fires, regular firefighting vehicles and other technical equipment are used, which are supported by units of the civil defense of emergency service. To eliminate local emergencies related to terrorist and domestic explosions and releases and/or spills of hazardous chemical and radioactive substances, taking into account their specificity and complexity, special operational vehicles are involved that special-purpose emergency rescue units, Interregional, and Specialized Emergency Response Centers of the State Emergency Service of Ukraine are equipped with. The equipment of the majority of state fire and rescue units, which is the most common type of emergency rescue units on the territory of settlements of Ukraine, does not include mentioned specialized equipment. It occasionally causes difficulties within local emergencies because of the need to attract the necessary types of special vehicles from the territorially remote specialized units, which causes a significant increase in the response time. Taking into account foreign experience, it was determined that the most promising for Ukraine, in order to reduce the time of response to local emergencies, is the way of creating multifunctional body-containers and equipping territorial units of the civil defense emergency-rescue service with them.

The **third section** of the dissertation work represents a development of a mathematical model for assessing the response time of subdivisions of emergency rescue units to local emergencies using the theory of multiplicities. In order to develop a mathematical model, the initial conditions for solving the problem were primarily, and then the boundary conditions were determined. After this, the gradual solution of the

problem was carried out the synthesis of the desired mathematical model. The developed mathematical model of estimation of time of reaction of emergency rescue units to local emergencies is a system of four dependencies. The first dependence defines the response time as the product of the logic coefficient to the sum of three time intervals. The second dependence defines the first time interval as the dependence of the reaction time from the distance and the average speed, as well as the coefficient, which determines the level of influence of the characteristics of the route of the traffic network on the time of the movement of emergency rescue units to the place of occurrence of a local emergency. The third dependence determines the second time interval, which is the dependence of the response time on the indicators that characterize the time taken by the emergency rescue units to overcome the obstacles caused by the physical and geographical conditions, as well as the time of the passage of forces and means of emergency rescue unit by the street-road network of the settlement to the most territorially remote point, which is located on the border of the corresponding administrative-territorial area and belongs to the service district of this unit. The fourth dependence determines the time when the emergency rescue unit is being prepared for operational readiness as the amount of scheduling time, time of collection and departure, and operational deployment time. In order to obtain adequate results in assessing the response time of emergency rescue units to local emergency situations, the mathematical model was supplemented with the following restrictions: the number of delivery vehicles in the i th subdivision of the emergency rescue unit should be more than or equal to one; the number of body-containers with the intended use of fire extinguishing in the i th subdivision of the emergency rescue unit must be more than or equal to one; the response time of emergency rescue units to local emergency situations should be more than zero. Optimization of emergency rescue unit could be done by finding the minimum response time.

The **fourth section** of the dissertation represents the verification of assurance of the developed mathematical model. In order to verify the assurance of the mathematical model of estimating the time of response of emergency rescue units to local emergency situations, the method of performing of numerical experiments was substantiated, and then a functional scheme of the laboratory installation and a complex of hardware and software

tools that implement the proposed mathematical model were developed. After that, the analysis of complex numerical experiment was carried out.

The proposed method for conducting a numerical experiment involves performing of five procedures, namely: data systematization, clustering, typification of technical means, probable numerical estimations, and redistribution of technical means, which ensures verification of the assurance of the developed mathematical model.

The functional scheme of the developed laboratory installation consists of eight blocks, which are located on eight levels, connected by consecutive and hierarchical connections.

Using a developed laboratory set-up, a complex numerical experiment was conducted. Dependences obtained on the results of a complex numerical experiment were approximated by the linear regression equations, coefficients of which were tested according to Student's test with a reliability of 0,95. The adequacy of regression models was checked by Fisher's test and provides a correlation coefficient of not less than 0,7, which confirms the reliability of the developed mathematical model.

The **fifth section** of the dissertation represents a method for determining the required types and number of multi-functional mobile emergency and rescue complexes of container type, which includes the implementation of three procedures, namely: calculation of the indicator of the reduced number of callout cars, determining the number of delivery vehicles and removable body-containers, redistribution of delivery vehicles and removable body-containers by subdivisions of emergency rescue units of the settlement. Before applying the developed method, it is necessary to perform two preparatory stages at first, namely: the analysis of statistical data and verification of the conditions of application of the developed methodology, as well as the definition of types of removable body-containers. This technique allows determining the types and number of multi-functional mobile rescue complexes with removable body-containers for equipping subdivisions of emergency rescue units of a settlement, taking into account the specifics of the operational situation that has developed in the outlying areas, and provides the optimal distribution of technical means during the period of their partial maintenance and repair.

The **practical significance of the research results** implies the development of the method for determining the required types and number of multi-functional mobile emergency-rescue complexes of container type. This method allows establishing the need for emergency rescue units in the specified type of equipment, taking into account the operational-tactical situation in their exit areas and performing redistribution means and equipment for firefighting and emergency rescue operations between units within a single settlement. The main results of the research were implemented at the Ukrainian Research Institute of Civil Defense and the Main Office of State Emergency Service of Ukraine in Kharkiv region.

Key words: response time, local emergency, emergency rescue unit, emergency rescue works, removable body-container, emergency vehicle.

List of publications of degree-seeker

Publications in which the main scientific results of the dissertation are published:

Monographs:

1. Shmatko, O.V., & **Kovalenko, R.I.** (2016). Razrabotka programmnogo bloka, prednaznachennogo dlya optimizatsii razmescheniya pozharnyih i avariyno-spasatelnyih avtomobiley v pozharno-spasatelnyih podrazdeleniyah goroda Harkova [Development of a software section designed to optimize the placement of fire and rescue vehicles in the fire and rescue units of the city of Kharkov]. *Informatsionnyie tehnologii v upravlenii, obrazovanii, nauke i promyshlennosti – Information technologies in management, education, science and industry* (section 6), (pp. 85–98). Kharkov: Publisher Rozhko, S.G. [in Ukrainian].

The problem statement, the analysis of recent researches and publications, the development of a second variant of the target function of optimal placement of operational vehicles by subdivisions of emergency rescue units, conducting calculations and analyzing the results belongs to the degree-seeker in particular.

Articles in the scientific professional editions of Ukraine, which are part of international scientometric bases:

2. Larin, O.M., Kalynovskyi, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2015). Doslidzhennia parametriv funktsionuvannia pozhezhno-riatuvalnykh pidrozdiliv mista Kharkova na suchasnomu etapi dlia rozrobky prohramnoho bloku «PROHNOZ NS» [Investigation of the parameters of functioning of the fire and rescue subdivisions of Kharkiv at the present stage for the development of the software unit «PROGNOZ NS»]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» – Newsletter of the National Technical University «KhPI»*, 62 (1171), pp. 77–83 [in Ukrainian]. (An article in the scientific professional publication of Ukraine included to Index Copernicus and Ulrich's Periodicals international science-based databases).

The problem statement, the analysis of recent researches and publications, the results of analysis of the process of the functioning of emergency rescue units of Khrakiv belongs to the degree-seeker in particular.

3. Kalynovskyi, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2017). Otsiniuvannia mozhlyvoho efektu vid osnashchennia pozhezhno-riatuvalnykh pidrozdiliv m. Kharkova bahatofunktsionalnymy mobilnymy pozhezhno-riatuvalnymy kompleksamy konteinerneho typu [Estimation of the possible effect of equipping the fire and rescue units of Kharkiv with multifunctional mobile fire and rescue complexes of the container type]. *Problemyi pozharnoy bezopasnosti – Problems of fire safety*, issue 41, pp. 74–80 [in Ukrainian]. (An article in the scientific professional publication of Ukraine included to Index Copernicus and Ulrich's Periodicals international science-based databases).

The problem statement, the analysis of recent researches and publications, results of the estimation of the possible effect of equipping emergency rescue units with delivery vehicles with removable body-containers belongs to the degree-seeker in particular.

4. Kalynovskyi, A.Ya., **Kovalenko, R.I.**, & Berezovskyi, O.I. (2017). Rozrobka orhanizatsiinoi systemy provedennia tekhnichnoho obsluhovuvannia avariino-riatuvalnykh kompleksiv konteinerneho typu na prykladi DPRCh mista Kharkova [Development of an organizational system for maintenance of emergency-rescue complexes of container type

on the example of the state fire and salvage unit of Kharkiv]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii – Emergencies problems*, issue 26, pp. 56–62 [in Ukrainian]. (An article in the scientific professional publication of Ukraine included to Index Copernicus and Ulrich's Periodicals international science-based databases).

The problem statement, the analysis of recent researches and publications, the proposed substantiation of the maintenance system of delivery vehicles with a limited number of emergency vehicles in the subdivisions belongs to the degree-seeker in particular.

Articles in scientific professional editions of Ukraine:

5. **Kovalenko, R.I.** (2016). Doslidzhennia osnovnykh statystychnykh zakonmironosti protsesu funktsionuvannia derzhavnykh pozhezhno-riatuvalnykh chastyn mista Kharkova [Investigation of the basic statistical regularities of the functioning of the state fire and salvage units of Kharkiv]. *Problemyi pozharnoy bezopasnosti – Problems of fire safety*, issue 39, pp. 129–136 [in Ukrainian]. (Article in the scientific professional publication of Ukraine).

The problem statement, the analysis of recent researches and publications, the results of the analysis of the operation of emergency rescue units in Kharkiv, as well as the results of checking statistical hypotheses about the Poisson character of the flow of calls coming to the units belongs to the degree-seeker in particular.

6. Kalynovskyi, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2017). Statystychnе doslidzhennia kharakteru nebezpechnykh podii, yaki vynykaiut v misti Kharkovi [Statistical study of the nature of the dangerous events that occur in Kharkiv]. *Komunalne hospodarstvo mist – Municipality of the cities*, 135, pp. 159–166 [in Ukrainian]. (Article in the scientific professional publication of Ukraine).

The problem statement, the analysis of recent researches and publications, the results of the analysis of the operation of emergency rescue units in Kharkiv, as well as the results of checking statistical hypotheses about the Poisson character of the flow of calls coming to the units belongs to the degree-seeker in particular.

7. **Kovalenko, R.I.** (2017). Rozrobka sposobu vyznachennia neobkhdnoi kilkosti bahatofunktsionalnykh mobilnykh avariino-riatuvalnykh kompleksiv konteinerneho typu dlia kompletuvannia transportnykh zasobiv avariino-riatuvalnykh formuvan [Development of a method for determining the required number of multifunctional mobile emergency rescue complexes of container type for the armament of vehicles of emergency-rescue formations]. *Naukovyi visnyk: tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka – Scientific newsletter: civil defense and fire safety*, 2, pp. 40–46 [in Ukrainian]. (Article in the scientific professional publication of Ukraine).

8. Kalynovskyi, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2017). Rozrobka matematychnoi modeli vyznachennia chasu reahuvannia avariino-riatuvalnykh formuvan na lokalni nadzvychaini sytuatsii [Development of a mathematical model for determining the response time of emergency rescue units to local emergency situations]. *Pozhezhna bezpeka – Fire safety*, 31, pp. 43–48 [in Ukrainian]. (Article in the scientific professional publication of Ukraine).

The problem statement, the analysis of recent researches and publications, as well as developed mathematical model for determining the response time of emergency rescue units to local emergency situations belongs to the degree-seeker in particular.

9. **Kovalenko, R.I.** (2018). Rozrobka funktsionalnoi skhemy laboratornoi ustanovky dlia otsiniuvannia chasu reahuvannia na lokalni nadzvychaini sytuatsii [Development of the functional scheme of the laboratory unit for assessing the response time to local emergencies]. *Komunalne hospodarstvo mist – Municipality of the cities*, 140, pp. 40–45 [in Ukrainian]. (Article in the scientific professional publication of Ukraine).

Articles in scientific periodicals of other states in course of the dissertation:

10. Larin, A.N., Kalinovskiy, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2015). Problemyi ispolzovaniya geoinformatsionnyih tehnologiy v pozharno-spasatelnyih podrazdeleniyah Ukrainyi [Problems of use of geoinformation technologies in fire and rescue units of Ukraine]. *Vestnik Kokshetauskogo tehnikeskogo instituta Komiteta po chrezvyichaynym situatsiyam MVD Respubliki Kazakhstan – Newsletter of Kokshetau Technical Institute of*

the Emergency Situations Committee of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan. Kokshetau, 2(18), pp. 10–15 [in Kazakhstan]. (Article in the foreign scientific professional publication).

The problem statement, the analysis of recent researches and publications, the results of the analysis of known geographic information systems used in the activity of emergency rescue units belongs to the degree-seeker in particular.

11. Larin, A.N., Kalinovskiy, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2016). Analiz putey sokrascheniya vremeni pribyitiya pozharno-spasatelnyih podrazdeleniy na vyizov [Analysis of ways to reduce the arrival time of fire and rescue units for a callout]. *Chrezvyichaynyie situatsii: obrazovanie i nauka – Emergency situations: education and science*, Vol. 11, 1, pp. 88–94 [in Belarus]. (Article in the foreign scientific professional publication).

The problem statement, the analysis of recent researches and publications, results of the analysis of ways to reduce the time of the passage of forces and means from the place of permanent dislocation to the place of liquidation of local emergencies belongs to the degree-seeker in particular.

Publications confirming the practical evaluation of the materials of the dissertation:

12. Larin, O.M., Kalynovskyi, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2015). Perspektyvy vprovadzhennia pozhezhno-riatuvalnykh avtomobiliv konteinerneho typu v operatyvnu diialnist riatuvalnykh pidrozdiliv [Prospects for the implementation of fire-rescue cars of container type in the operational activities of emergency units]. *Zbirnyk naukovykh prats VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: «Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu»* – Collection of scientific works of the VIII International scientific and practical conference «*Modern technologies and prospects of development of motor transport*», Vinnytsia. VNTU, October 19–21, 2015, pp. 93–96 [in Ukrainian]. (Form of participation – extramural).

The problem statement, as well as the results of analysis of the main advantages of multifunctional mobile rescue complexes of container type in comparison with fire-rescue cars of «classic assembly» belongs to the degree-seeker in particular.

13. **Kovalenko, R.I.**, & Kalinovskiy, A.Ya. (2016). Issledovanie osnovnykh prichin i zakonomernostey vozniknoveniya chrezvyichaynykh situatsiy v bolshih gorodakh na primere goroda Harkova [Investigation of the main causes and patterns of occurrence of emergencies in large cities on the example of Kharkov]. Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii nauchnoe obespechenie bezopasnoy zhiznedeyatel'nosti: «Kazakhstan v novoy globalnoy realnosti: rost, reformy, razvitiye» – Materials of the IV International Scientific and Practical Conference on scientific provision of safe living: «Kazakhstan in a new global reality: growth, reforms, development», Kokshetau, KTI KChS MVD RK, March 25, 2016, pp. 150–153 [in Kazakhstan]. (Form of participation – extramural).

The problem statement, as well as the results of studies on the degree of influence of factors that affect the number of local emergencies occurring in the territory of settlements belongs to the degree-seeker in particular.

14. Kalinovskiy, A.Ya., Shmatko, O.V., & **Kovalenko, R.I.** (2016). Vykorystannia ASU ta heoinformatsiinykh system v operatyvni diialnosti pozhezhno-riatuvalnykh pidrozdiliv [The use of automated control systems and geoinformation systems in the operational activities of fire and rescue units]. Tezy dopovidei VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: «Problemy ta perspektyvy rozvytku IT-industrii» – Abstracts of the VIII International Scientific and Practical Conference: «Problems and Prospects for the Development of the IT Industry», Kharkiv, KhNEU im. Semena Kuznetsia, April 28–29, 2016, P. 65 [in Ukrainian]. (Form of participation – extramural).

The problem statement, as well as the results of the analysis of known geographic information systems used in the operation of emergency rescue units belongs to the degree-seeker in particular.

15. Kalynovskyi, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2016). Obgruntuvannia neobkhidnykh typiv avtomobiliv konteinerneho typu v derzhavnykh pozhezhno-riatuvalnykh

pidrozdilakh mista Kharkova [Substantiation of the necessary types of cars of container type in the state fire and rescue subdivisions of Kharkiv]. Materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: «*Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii*» – Materials of the VII International Scientific and Practical Conference: «*Theory and Practice of Fire Extinguishing and Elimination of Emergencies*», Cherkasy, ChIPB im. Heroiv Chornobylia NUTsZU, May 19–20, pp. 53–55 [in Ukrainian]. (Form of participation – extramural).

The problem statement, as well as the proposed substantiation of the types of removable body-containers for the subdivisions of emergency rescue units of Kharkiv belongs to the degree-seeker in particular.

16. Kalynovskyi, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2017). Rozrobka mekhanizmu pererozpodilu spetsialnoi tekhniky mizh pozhezhno-riatuvalnymy pidrozdilamy [Development of mechanism for redistribution of special equipment between fire and rescue units]. Zbirnyk materialiv naukovo-praktychnoho seminaru: «*Problemy tsyvilnoho zakhystu: upravlinnia, poperedzhennia, avariino-riatuvalni ta spetsialni roboty*» – Collection of materials of the scientific and practical seminar: «*Problems of civil defense: management, prevention, rescue and special works*», Kharkiv, NUTsZU, April 19, 2017, pp. 90–92 [in Ukrainian]. (Form of participation – intramural).

The problem statement, as well as developed target function of redistribution of emergency vehicles by subdivisions of emergency rescue units, taking into account the specificity of the flow of callouts coming to them belongs to the degree-seeker in particular.

17. Kalynovskyi, A.Ya., & **Kovalenko, R.I.** (2017). Pobudova kontseptualnoi modeli funktsionuvannia transportno-lohistychnoi konteineranoi systemy postachannia zasobiv ta osnashchennia dlia provedennia pozhezhohasinnia ta avariino-riatuvalnykh robit [Construction of a conceptual model of the operation of a transport and logistic container system for the supply of facilities and equipment for firefighting and emergency works]. Materialy VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii: «*Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii*» – Materials of the VII

International Scientific and Practical Conference: «*Theory and Practice of Fire Extinguishing and Elimination of Emergencies*», Cherkasy, ChIPB im. Heroiv Chornobylia NUTsZU, May 18–19, 2017, pp. 41–42 [in Ukrainian]. (Form of participation – extramural).

The problem statement, as well as proposed organizational-logical scheme of container delivery of special equipment and fire extinguishing means to places of operational activities belongs to the degree-seeker in particular.

18. **Kovalenko, R.I.** (2018). Rozrobka metodychnoho pidkhodu do vyznachennia chyselnosti operatyvnykh transportnykh zasobiv pry komplektuvanni nymy pidrozdiliv avariino-riatuvalnykh formuvan [Development of a methodical approach to the determination of the number of operative vehicles when armed with them of units emergency-rescue formations]. Zbirnyk tez dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii: «*Pozhezhna bezpeka: problemy ta perspektyvy*» – Collection of abstracts of reports of the All-Ukrainian scientific-practical conference: «*Fire safety: problems and perspectives*», Kharkiv, NUTZU, March 1–2, 2018, pp. 106–108 [in Ukrainian]. (Form of participation – intramural).

Scientific works, which additionally reflect the scientific results of the dissertation:

19. **Kovalenko, R.I.** (2017). Improvement of the method of determining the number and nomenclature of the park of cars in fire-related surfaces of the city at the example of the city of Kharkov. *East European Scientific Journal*, 9(25), Part 1, pp. 48–56 [in Poland].

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	29
ВСТУП.....	30
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ФОРМ І МЕТОДІВ СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ НА ЛОКАЛЬНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ	37
1.1. Використання поняття «локальна надзвичайна ситуація».....	37
1.2. Характеристика ліквідації локальних надзвичайних ситуацій в розвинутих країнах світу	39
1.3. Ліквідація локальних надзвичайних ситуацій у країнах Євросоюзу	44
Висновки до першого розділу	49
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ РЕАГУВАННЯ НА ЛОКАЛЬНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ В УКРАЇНІ	50
2.1. Особливості локальних пожеж та їх ліквідації.....	50
2.2. Специфіка ліквідації наслідків терористичних актів і побутових вибухів	52
2.3. Особливості ліквідації радіоактивних та хімічних забруднень	54
2.4. Шляхи скорочення часу реагування на локальні надзвичайні ситуації в Україні	56
Висновки до другого розділу	59
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ ФОРМУВАНЬ НА ЛОКАЛЬНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ	60
3.1. Формування початкових умов вирішення задачі	60
3.1.1. Характеристика технічних засобів аварійно-рятувальних формувань	60
3.1.2. Використання математичних залежностей для характеристики аварійно- рятувальних сил та засобів	66
3.2. Визначення граничних умов задачі.....	70
3.2.1. Специфіка фізико-географічних умов регіону	70
3.2.2. Використання математичних залежностей для врахування впливу фізико-географічних умов регіону на дії аварійно-рятувальних формувань	72

3.3. Послідовність вирішення задачі	74
Висновки до третього розділу	77
РОЗДІЛ 4. ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ	79
4.1. Обґрунтування методики проведення чисельних експериментів	79
4.2. Опис лабораторної установки	91
4.3. Аналіз комплексного чисельного експерименту	94
4.3.1. Визначення видів і чисельності знімних кузовів-контейнерів та автомобілів-носіїв для оснащення аварійно-рятувальних формувань	94
4.3.2. Проведення процедури мінімізації часу реагування аварійно- рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації	122
4.3.3. Оцінка ефекту від реалізації процедури мінімізації часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації	128
Висновки до четвертого розділу	141
РОЗДІЛ 5. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ВИДІВ ТА ЧИСЕЛЬНОСТІ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОБІЛЬНИХ АВАРІЙНО- РЯТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ КОНТЕЙНЕРНОГО ТИПУ	143
5.1. Розробка методики визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу	143
5.2. Використання розробленої методики в умовах технічного обслуговування і ремонту технічних засобів	146
Висновки до п'ятого розділу	156
ВИСНОВКИ	157
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	160
ДОДАТОК А Список публікацій за темою дисертації	177
ДОДАТОК Б Акти впровадження результатів досліджень	184

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРЗ СП – аварійно-рятувальний загін спеціального призначення;

АРР – аварійно-рятувальні роботи;

АРФ – аварійно-рятувальне формування;

БМАРК – багатофункціональний мобільний аварійно-рятувальний комплекс;

ВДМ – вулично-дорожня мережа;

ДПРЧ – державна пожежно-рятувальна частина (підрозділ);

ДСНС України – Державна служба України з надзвичайних ситуацій;

ДТП – дорожньо-транспортна пригода;

ЛНС – локальна надзвичайна ситуація;

НС – надзвичайна ситуація;

НХР – небезпечна хімічна речовина;

ТЗ – транспортний засіб;

ТО – технічне обслуговування.

ВСТУП

Актуальність теми. Рівень транспортного забезпечення процесу ліквідації надзвичайних ситуацій відіграє важливу роль при виконанні оперативних дій особовим складом аварійно-рятувальних формувань. Від нього залежить, головним чином, показник часу реагування підрозділів аварійно-рятувальних формувань, який впливає на ймовірності загибелі та травмування людей під час виникнення різного роду надзвичайних ситуацій і ймовірну величину матеріальних збитків від них.

Сучасний стан транспортного забезпечення процесу ліквідації надзвичайних ситуацій в Україні характеризується використанням застарілого парку оперативних транспортних засобів підрозділами аварійно-рятувальних формувань та невідповідністю їх видового і чисельного складу сучасним потребам. З огляду на це постає необхідність проведення технічного переоснащення аварійно-рятувальних формувань.

В багатьох провідних країнах Євросоюзу та Сполучених Штатах Америки в останні роки спостерігається тенденція до оснащення аварійно-рятувальних формувань багатофункціональними мобільними аварійно-рятувальними комплексами зі знімними кузовами-контейнерами, які складаються з автомобіля-носія, який має вантажно-розвантажувальний механізм, та набору спеціалізованих знімних кузовів-контейнерів різного цільового призначення. Вказаний вид оперативних транспортних засобів дозволяє за обмеженої їх кількості в підрозділах, за рахунок різної номенклатури спеціалізованих кузовів-контейнерів, виконувати широке коло цільових завдань та скоротити кількість залучень спеціальних автомобілів з територіально віддалених підрозділів, що, у свою чергу, дозволяє скоротити і час реагування. На жаль, існуючі підходи до визначення необхідних видів та чисельності оперативних транспортних засобів при оснащенні підрозділів не дозволяють встановити потребу аварійно-рятувальних формувань у багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексах зі знімними

кузовами-контейнерами, що також не дозволяє підвищити ефективність процесу реагування, а тому вирішення даних питань є актуальним напрямом досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до Розпорядження КМУ від 27 квітня 2011 року № 368-р «Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2012–2016 роки» та «Стратегії реформування системи Державної служби з надзвичайних ситуацій», схваленої Розпорядженням КМУ від 25 січня 2017 р. №61-р. Дослідження є складовою частиною науково-дослідної роботи «Розробка рекомендацій по визначенню граничної штатної чисельності та кількості оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС України» (реєстраційний номер 0114U002246), в якій здобувач був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є скорочення часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації шляхом використання в територіальних підрозділах оперативно-рятувальної служби цивільного захисту багатофункціональних кузовів-контейнерів на прикладі міста Харкова.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були виконані наступні **задачі**:

- проведено аналіз форм і методів скорочення часу реагування на локальні надзвичайні ситуації;
- досліджено особливості реагування на локальні надзвичайні ситуації в Україні;
- розроблено математичну модель оцінки часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації;
- виконано перевірку достовірності запропонованої математичної моделі оцінки часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації з використанням розробленої лабораторної установки та комплексу апаратно-програмних засобів шляхом проведення комплексного чисельного експерименту;

- розроблено методику визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу.

Об'єкт дослідження – процес реагування на локальні надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру.

Предмет дослідження – способи скорочення часу реагування на локальні надзвичайні ситуації аварійно-рятувальних формувань шляхом їх оснащення багатофункціональними кузовами-контейнерами.

Методи дослідження. На основі системного підходу та системного аналізу було визначено чинники, які впливають на час реагування аварійно-рятувальних формувань при ліквідації локальних надзвичайних ситуацій, а також досліджено особливості реагування підрозділів на локальні надзвичайні ситуації в Україні. З використанням теорії множин та синтезу було розроблено математичну модель оцінки часу реагування підрозділів аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації. Методи математичного моделювання, теорії ймовірностей та математичної статистики були використані при розробці лабораторної установки та під час проведення комплексного чисельного експерименту. Методика визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу була розроблена з використанням методів системного підходу та синтезу.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу в галузі цивільного захисту – удосконалено підхід до забезпечення аварійно-рятувальних формувань транспортними засобами шляхом їх оснащення багатофункціональними кузовами-контейнерами.

У процесі виконання роботи *вперше* отримано наступні наукові результати:

1. Розроблено математичну модель оцінки часу реагування на локальні надзвичайні ситуації аварійно-рятувальних формувань при використанні ними багатофункціональних кузовів-контейнерів, яка являє собою сукупність із чотирьох залежностей. Перша залежність визначає час реагування як добуток коефіцієнта логічного показника на суму трьох часових інтервалів. Друга залежність визначає

перший часовий інтервал як залежність часу реагування від дистанції й середньої швидкості прямування, а також коефіцієнта, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху вулично-дорожньою мережею на час прямування підрозділів до місця виникнення локальних надзвичайних ситуацій. Третя залежність визначає другий часовий інтервал як залежність часу реагування від показників, які характеризують собою час, затрачений підрозділами на подолання перешкод, що спричинені фізико-географічними умовами, а також часу прямування сил та засобів з підрозділу по вулично-дорожній мережі населеного пункту до найбільш територіально віддаленої точки, яка знаходиться на кордоні відповідного адміністративно-територіального району і відноситься до району обслуговування цього підрозділу. Четверта залежність визначає час приведення в оперативну готовність підрозділу аварійно-рятувального формування як суму часу диспетчеризації, часу збору і виїзду та часу оперативного розгортання.

2. Розроблено функціональну схему лабораторної установки та комплекс апаратно-програмних засобів, які реалізують запропоновану математичну модель оцінки часу реагування на локальні надзвичайні ситуації аварійно-рятувальних формувань при використанні ними багатофункціональних кузовів-контейнерів та дозволяють дослідити вплив на час реагування наступних факторів: дистанції й середньої швидкості прямування, а також коефіцієнта, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху вулично-дорожньою мережею на час прямування підрозділів до місця локальної надзвичайної ситуації; фізико-географічних умов регіону та часу на виконання інженерних заходів підрозділами аварійно-рятувальних формувань щодо підготовки маршрутів руху до місця ліквідації локальної надзвичайної ситуації; часу приведення в оперативну готовність підрозділу аварійно-рятувального формування.

3. Розроблено методику визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу, яка дозволяє встановити потребу аварійно-рятувальних формувань у вказаному виді техніки з урахуванням оперативно-тактичної обстановки в їх районах виїзду.

Практичне значення отриманих результатів дослідження полягає у тому, що розроблено методику визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу, яка дозволяє встановити потребу аварійно-рятувальних формувань у вказаному виді техніки з урахуванням оперативно-тактичної обстановки в їх районах виїзду і виконати перерозподіл засобів та оснащення для проведення пожежогасіння і аварійно-рятувальних робіт між підрозділами в межах окремого населеного пункту. Основні результати дослідження були впроваджені в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту та ГУ ДСНС України у Харківській області.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і наведені в роботах [1–19]. В наукових роботах [1–4, 6, 8, 10–17], що опубліковані у співавторстві, особисто здобувачу належать: постановка задач, аналіз останніх досліджень і публікацій, проведення розрахунків та експериментальних досліджень, аналіз отриманих результатів. Крім цього, здобувачу також належать: у роботі [1] – розробка другого варіанта цільової функції оптимального розміщення оперативних транспортних засобів по підрозділах аварійно-рятувальних формувань; в роботах [2, 6] – результати аналізу процесу оперативного функціонування аварійно-рятувальних формувань міста Харкова, а також результати перевірки статистичних гіпотез про пуассонівський характер потоку викликів, який надходить до підрозділів; у роботі [3] – результати оцінки можливого ефекту від оснащення аварійно-рятувальних формувань автомобілями-носіями зі знімними кузовами-контейнерами; у роботі [4] – запропоноване обґрунтування системи проведення технічного обслуговування вказаних оперативних транспортних засобів при обмеженій чисельності резерву автомобілів-носіїв у підрозділах; у роботі [8] – розроблена математична модель визначення часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації; у роботах [10, 14] – результати аналізу відомих геоінформаційних систем, які використовуються у діяльності аварійно-рятувальних

формувань; у роботі [11] – результати аналізу шляхів скорочення часу прямування сил та засобів від місця постійної дислокації до місця ліквідації локальних надзвичайних ситуацій; у роботі [12] – результати аналізу основних переваг багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу в порівнянні з пожежно-рятувальними автомобілями «класичного компонування»; у роботі [13] – результати досліджень ступеня впливу чинників, які впливають на чисельність локальних надзвичайних ситуацій, що виникають на території населених пунктів; у роботі [15] – запропоноване обґрунтування видів знімних кузовів-контейнерів для підрозділів аварійно-рятувальних формувань міста Харкова; у роботі [16] – розроблена цільова функція перерозподілу оперативних транспортних засобів по підрозділах аварійно-рятувальних формувань з урахуванням специфіки потоку викликів, який до них надходить; у роботі [17] – запропонована організаційно-логічна схема контейнерної доставки спеціального оснащення та засобів пожежогасіння до місць проведення оперативних робіт.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (ВНТУ, м. Вінниця, 19–21 жовтня 2015 р., форма участі – заочна) [12]; на IV Міжнародній науково-практичній конференції «Казахстан в новій глобальній реальності: ріст, реформи, розвиток» забезпечення безпеки життєдіяльності (КТІ КНС МВС РК, м. Кокшетау, 25 березня 2016 р., форма участі – заочна) [13]; на VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку IT-індустрії» (ХНЕУ ім. Семе́на Кузне́ця, м. Харків, 28–29 квітня 2016 р., форма участі – заочна) [14]; на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, м. Черкаси, 19–20 травня 2016 р., форма участі – заочна) [15]; на науково-практичному семінарі «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи» (НУЦЗУ, м. Харків, 19 квітня 2017 р., форма участі – очна) [16]; на VIII Міжнародній науково-практичній конференції

«Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, м. Черкаси, 18–19 травня 2017 р., форма участі – заочна) [17]; на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Пожежна безпека: проблеми та перспективи» (НУЦЗУ, м. Харків, 1–2 березня 2018 р., форма участі – очна) [18].

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 19 наукових праць: 8 статей у наукових фахових виданнях України (з них 2 статті – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus і Ulrich's Periodicals, та 1 статтю – у виданні, яке входить до міжнародної наукометричної бази Ulrich's Periodicals); 2 статті – у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію; 1 статтю – у закордонному періодичному виданні; 1 розділ у колективній монографії; 7 тез доповідей на конференціях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота загальним обсягом 182 сторінки складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел зі 143 найменувань і 2 додатків, містить 26 рисунків, 29 таблиць, з них 5 таблиць на окремих сторінках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ФОРМ І МЕТОДІВ СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ НА ЛОКАЛЬНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

1.1. Використання поняття «локальна надзвичайна ситуація»

У процесі проведення наукових досліджень, з метою однозначного тлумачення теоретичних і практичних положень, важливо дотримуватись певного понятійного апарату. У зв'язку з тим, що основною метою дисертаційного дослідження є зменшення часу реагування аварійно-рятувальних формувань (АРФ) на локальні надзвичайні ситуації (ЛНС), необхідно першочергово визначитись із терміном «ЛНС».

У Сполучених Штатах Америки під терміном «ЛНС» розуміють надзвичайну ситуацію (НС), яка має поширення на площі певного територіального округу, тобто НС місцевого рівня [20]. Для управління та координації процесу реагування на ЛНС створюються місцеві комітети по плануванню НС [21, 22]. Найчастіше на території округів виникають саме ЛНС, які ліквідуються із залученням місцевих підрозділів АРФ, але у випадках, коли наявних сил буде недостатньо, місцевим комітетом по плануванню НС може бути сформований запит щодо надання федеральної або державної допомоги.

Згідно [23] у Великій Британії під терміном «ЛНС» розуміють НС місцевого характеру, на ліквідацію якої залучаються місцеві АРФ, а у певних випадках – і органи місцевого самоврядування.

В Італії, згідно [24], під терміном «ЛНС» розуміють НС, яка не виходить територіально за межі певної провінції та для ліквідації якої достатньо місцевих сил і засобів підрозділів АРФ.

Згідно [25] під терміном «ЛНС» слід розуміти НС природного або техногенного характеру, яка виникає на території певного муніципального утворення і не виходить за його територіальні межі.

В роботі [26] було визначено, що коректним формулюванням терміна «ЛНС» є НС об'єктового характеру, яка територіально не виходить за межі промислового об'єкта.

Згідно [27] однією з важливих характеристик НС є масштаби впливу і наслідків. За цією комплексною ознакою ситуації було поділено на п'ять типів: локальні, субнаціональні, національні, регіональні та глобальні. При цьому в цій роботі так і не було наведено жодних характеристик і визначення ЛНС.

В дослідженнях [28] під терміном «ЛНС» слід розуміти НС, під вплив негативних чинників якої потрапило декілька квадратних кілометрів території.

В Україні термін «ЛНС», якщо проаналізувати основні положення документа [29], не визначений, а НС за обсягом заподіяних збитків і кількістю залучених на їх ліквідацію сил та засобів поділяються на НС певних рівнів: державного, регіонального, місцевого та об'єктового.

Проаналізувавши поняття «ЛНС», яке набуло поширення за кордоном, можна дійти висновку, що найбільш близьким до нього за масштабами та наслідками в Україні є НС місцевого рівня. Згідно [30] НС місцевого рівня територіально виходить за межі потенційно небезпечного об'єкта, загрожує довкіллю, сусіднім населеним пунктам, інженерним спорудам, а для її ліквідації необхідні матеріальні й технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості потенційно-небезпечного об'єкта. В документі [30] чітко визначено класифікаційні ознаки НС місцевого рівня за кількістю загиблих і кількістю осіб, для яких були порушені нормальні умови життєдіяльності, а також граничні суми збитків. В Україні існує ще поняття «небезпечна подія» [29], яким називають деструктивні події, що загрожують нормальним умовам життєдіяльності населення та які за своїми масштабами і наслідками не можуть бути класифіковані як НС згідно [30]. Згідно статистичних даних на території України [31] та інших країн світу [32] небезпечних подій виникає значно більше, ніж НС, а для їх ліквідації достатньо сил та засобів одного територіального підрозділу.

Таким чином, на думку зарубіжних (вітчизняних) фахівців у галузі цивільного захисту, під «ЛНС» слід розуміти небезпечну подію, яка може бути ліквідована

одним територіальним підрозділом і за площею не виходить за зону відповідальності цього підрозділу.

1.2. Характеристика ліквідації локальних надзвичайних ситуацій в розвинутих країнах світу

Важливим показником, який відображає рівень оперативної готовності підрозділів АРФ до виконання дій за призначенням, є час реагування. Час реагування включає в себе час, витрачений на: диспетчеризацію, збір і виїзд сил та засобів із підрозділів АРФ за сигналом «Тривога», прямування до місця виклику, оперативне розгортання на місці виклику та безпосередньо ліквідацію наслідків ЛНС на місці виклику.

Згідно [33, 34] в США основні принципи реагування на ЛНС, учасники реагування на ЛНС та їх функції, а також структури, які здійснюють керування реагуванням, визначено в документі «Національна система реагування» (National Response Framework) [35].

У США, згідно [36], час прибуття сил та засобів до місця виклику не перевищує 5 хвилин, що досягається щільним розміщенням мережі АРФ по території населених пунктів.

Процес виникнення ЛНС має циклічний характер, що залежить від часу доби, пори року, дня тижня та інших чинників, а це, у свою чергу, є причиною нерівномірного завантаження оперативною роботою кожного окремого підрозділу АРФ. У роботі [37] було запропоновано математичні моделі та алгоритм динамічного перерозподілу оперативних відділень між АРФ м. Нью-Йорк з урахуванням особливостей оперативної обстановки в районах виїзду підрозділів. До моменту впровадження вказаного алгоритму перерозподіл оперативних відділень у м. Нью-Йорк виконувався за попередньо розробленими планами, але невдовзі були виявлені недоліки планового підходу, що було зумовлено саме характером нерівномірності потоку викликів, які надходили до підрозділів АРФ.

Одним із важливих елементів, від якого залежить рівень оперативної готовності підрозділів АРФ до виконання дій за призначенням, є стан їх матеріально-технічного і транспортного забезпечення.

У США, залежно від штату, можуть дещо змінюватися вимоги нормативних документів стосовно створення та комплектування підрозділів АРФ. На характер організації АРФ у США сильний вплив справляє бюро страхових послуг, яке здійснює перевірку їх діяльності за різними критеріями. Кожному пожежному департаменту присвоюється певний клас від 1 до 10. Відповідно клас 1 – найвищий, тобто стан забезпечення пожежної безпеки в даному департаменті – найвищий. При проведенні аналізу діяльності окремих пожежних департаментів США та їх керівних документів [38–41] було встановлено, що кожен з них при отриманні певного класу відмінного від 1, прагне його підвищити. Це пов'язано з тим, що, згідно [42], вказані категорії використовуються страховими організаціями для визначення страхових премій при страхуванні від пожеж житлових і комерційних об'єктів, тобто чим вищим є рівень забезпечення пожежної безпеки, тим меншими є розміри страхових премій.

Комплектування АРФ окремими видами техніки в населених пунктах США залежить від особливостей оперативної обстановки на їх територіях, а також на це впливають економічні чинники. Окремі документи регламентують вимоги щодо підготовки пожежних і мінімального оснащення оперативних транспортних засобів (ТЗ) [41]. Організацію та порядок реагування на ЛНС у США, вимоги щодо підготовки пожежних-рятувальників, а також ряд інших важливих вимог регламентують стандарти американської Національної Асоціації Протипожежного Захисту. Стандарт [43] регламентує порядок дій, вимоги щодо підготовки пожежних-рятувальників, вимоги щодо засобів індивідуального захисту та обладнання, зокрема і оперативних ТЗ для проведення операцій з пожежогасіння підрозділами АРФ на об'єктах транспорту. Нормативний документ [44] регламентує організацію та проведення пошуково-рятувальних робіт підрозділами АРФ. Стандарт [45] регламентує часові стандарти для основних етапів реагування

(диспетчеризація, час прямування, час оперативного розгортання) та критерії утворення для професійних підрозділів АРФ у відповідному населеному пункті, а стандарт [46] вміщує подібні положення, але для волонтерських підрозділів АРФ. У стандарті [47] зосереджені організаційні вимоги щодо проведення аварійно-рятувальних робіт (АРР) під час ліквідації НС, а також вимоги щодо безпеки праці пожежних-рятувальників.

На ефективність проведення оперативних робіт підрозділами АРФ під час ліквідації ЛНС у значній мірі впливає їх кількісний склад та рівень забезпеченості необхідним спорядженням. З метою визначення необхідного видового та кількісного складу сил і засобів АРФ, при відправці їх на ліквідацію ЛНС, можуть використовуватися системи для підтримки прийняття рішень, які створюються із застосуванням різних наукових підходів [48–52]. В роботі [53] наведено специфіку та рівні прийняття рішень, які стосуються ліквідації НС.

Згідно [54] перед відправкою підрозділів до місця виклику необхідно спершу оцінити географічні характеристики території, на якій сталась ЛНС. З цією метою використовуються геоінформаційні системи. Особливо це стає актуальним при плануванні маршрутів прямування сил та засобів із підрозділів АРФ при масштабних природних катаклізмах до місць проведення оперативних робіт, коли необхідно враховувати характеристики вулично-дорожньої мережі (ВДМ) населеного пункту та ймовірний час прямування, за умови вибору того чи іншого альтернативного маршруту [55].

В роботі [56] було побудовано марківську модель, яка дозволяла визначити необхідну кількість оперативних відділень для відправлення до місця виклику, що враховувала наступне: очікувану інтенсивність надходження викликів, ймовірний рівень складності виклику та чисельність оперативних відділень у підрозділі АРФ.

У процесі ліквідації ЛНС у США використовуються як оперативні ТЗ «класичного компонування», так і багатофункціональні мобільні аварійно-рятувальні комплекси (БМАРК) зі знімними кузовами-контейнерами.

Згідно [57] з 80-х років ХХ століття відбулося розширення переліку завдань, які повинні були виконувати підрозділи АРФ США, що стало передумовою до

перегляду підходів щодо комплектування їх багатофункціональними оперативними ТЗ. У зв'язку з тим, що придбання та утримання ряду спеціальних оперативних ТЗ «класичного компонування» для підрозділів АРФ населеного пункту вимагали значних матеріальних вкладень, то альтернативним і більш економічно вигідним рішенням стало їх оснащення БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами.

БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами оснащені окремі підрозділи АРФ у США [58–60]. У роботах [58, 60] відмічено, що БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами є достатньо ефективними та дозволяють заощаджувати значні грошові ресурси при їх експлуатації АРФ. Звичайно в оперативній діяльності під час виконання завдань з пожежогасіння вони дещо поступаються «класичним» автоцистернам, але під час виконання різноманітних специфічних завдань, таких як підвіз піноутворювача, технічне забезпечення АРР, організація мобільних таборів для пожежних-рятувальників, які тривалий час працюють на складних викликах, зазначений вид ТЗ є досить ефективним. Крім цього, вони дозволяють підвищити рівень функціональних можливостей АРФ та зменшити кількість залучень спеціальних ТЗ із територіально віддалених підрозділів, що дозволяє, у свою чергу, скоротити час реагування на ЛНС. Згідно [61, 62] знімні кузови-контейнери конструктивно виконані взаємозамінними, що дозволяє використовувати для їх перевезень майже будь-який автомобіль-носій, який має вантажну платформу необхідних розмірів та вантажно-розвантажувальний механізм певної конструкції. З цією метою можуть використовуватися як спеціальні, так і звичайні ТЗ, що дозволяє знизити загальну вартість придбання та подальшої експлуатації БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами.

З метою безпечного та ефективного проведення розвідки осередку ЛНС, підрозділи АРФ США достатньо часто стали використовувати спеціалізовані роботизовані системи [63].

У роботі [64] було встановлено, що модель реагування на НС США через свою високу ефективність стала основою для створення подібних моделей в інших країнах світу. Незважаючи на це, впродовж останніх років було виявлено потребу в

перебудові існуючої моделі та обрання пріоритетним напрямом запобігання виникненню НС.

В Канаді, згідно [65], реагування на ЛНС здійснюється спершу на місцевому рівні, а у випадку ускладнення оперативної обстановки може бути виконано запит про допомогу в органів управління провінцій та територій. Коли обсяг оперативної роботи щодо ліквідації ЛНС виходить за межі можливостей провінцій і територій, виконується запит про допомогу до федерального уряду. Згідно [66] в більшості провінцій Канади відсутня нормативна база, яка регламентує обов'язки місцевої влади щодо забезпечення належного рівня цивільного захисту на відповідній території та її відповідальності стосовно відшкодування збитків постраждалому населенню. Загалом модель реагування на ЛНС у Канаді є подібною до тієї, яка існує в США.

Як у США, так і у Канаді важливе значення має процес визначення необхідного видового складу та чисельності сил і засобів, які необхідно відправляти до місця ліквідації ЛНС, що впливає на час її ліквідації.

В дослідженнях [67] було запропоновано підхід до визначення необхідної чисельності сил та засобів з метою подальшої їх відправки до місця виклику, який ґрунтувався на основі нейромережевого прогнозування. За результатами даних досліджень було встановлено, що цей підхід є досить багатообіцяльним, але, згідно [68], метод нейромережевого прогнозування має ряд вагомих недоліків, які обумовлюють складність його використання в діяльності підрозділів АРФ.

Керівництво при виникненні НС в Японії, згідно [69, 70], здійснюється на трьох рівнях: національне керівництво, префектури та муніципалітети. Для реагування на ЛНС на рівні муніципалітетів утримуються підрозділи АРФ. З економічних причин муніципалітети можуть створювати спільну службу реагування на ЛНС, що у країні вважається раціональним і ефективним заходом. Для забезпечення ліквідації масштабних НС в Японії функціонують 3 регіональні бази реагування. На оснащенні підрозділів знаходяться пожежні автоцистерни, аварійно-рятувальні автомобілі, вантажні автомобілі, пожежні автонасосні станції, пожежні автомобілі технічного забезпечення та інші.

Згідно [71, 72], крім оперативних ТЗ «класичного компонування», в підрозділах АРФ Японії впродовж тривалого часу використовуються БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами, які характеризуються різноманітними компонувальними схемами і широким переліком цільових завдань, що можуть виконуватися у процесі оперативного реагування на різні ЛНС.

Таким чином, в розвинутих країнах світу, таких як США, скорочення часу реагування на ЛНС досягається як за допомогою спеціальних технічних засобів, так і застосуванням багатофункціональних кузовів-контейнерів на одній платформі.

1.3. Ліквідація локальних надзвичайних ситуацій у країнах Євросоюзу

В Голландії реагування на ЛНС є обов'язком муніципалітетів; крім цього, законодавством передбачено створення регіональних служб реагування [73]. Регіональні служби залучаються до проведення оперативних робіт на територіях муніципалітетів при виникненні масштабних НС, тобто коли сил та засобів, які зосереджені в підрозділах АРФ муніципалітетів, недостатньо для виконання в повному обсязі поставлених перед ними завдань. Оснащення АРФ, які перебувають у підпорядкуванні муніципалітетів, залежить від фінансових можливостей останніх та характеру оперативно-тактичної обстановки на території муніципалітетів.

В роботі [74] було запропоновано математичну модель переміщення уже існуючих АРФ м. Амстердама з урахуванням обмеження на час прибуття кожного окремого виду оперативних ТЗ до місця виклику та умови покриття всієї території даного населеного пункту районами обслуговування підрозділів. За результатами досліджень було встановлено, що передислокація лише трьох АРФ з 19 на 50 % дозволяє скоротити випадки пізнього прибуття сил та засобів до місця ліквідації ЛНС.

У Франції, згідно [75], оперативні дії щодо ліквідації ЛНС виконуються професійними пожежними, добровольцями пожежно-рятувальних служб, а також персоналом державних служб і солдатами підрозділів, які інвестуються на постійній

основі. У структурі викликів підрозділів переважає допомога населенню (77 % від загальної кількості викликів), до якої відноситься порятунок людей (надання медичної допомоги, порятунок потопаючих, витягування людей з ям та ін.) та дорожньо-транспортні пригоди (ДТП), а проведення пожежогасіння становить лише 7 % від загальної кількості викликів [76]. Підрозділи АРФ Франції оснащені як оперативними ТЗ «класичного компонування», так і БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами [77].

У Чехії функціонує інтегрована система порятунку, яку було створено з метою повсякденної співпраці пожежних-рятувальників, медичних працівників, поліції та інших служб для реагування на ЛНС [78]. Дана система дозволила усунути спірні питання, пов'язані з визначенням повноважень різних оперативних служб під час ліквідації наслідків ЛНС. Відповідальність за виконання завдань цивільного захисту підрозділів АРФ, окремих міністерств, муніципалітетів, юридичних та фізичних осіб регламентує документ [79]. Як і в більшості країн Євросоюзу, на оснащенні підрозділів АРФ Чехії перебувають як оперативні ТЗ «класичного компонування», так і БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами [80–82].

В Німеччині за організацію й підтримання оперативної готовності підрозділів АРФ відповідає адміністрація конкретної общини або міста, що пов'язано з особливостями конституційного устрою країни [83]. Залежно від чисельності мешканців населеного пункту визначається форма організації АРФ (професійна чи добровільна). Форма організації, чисельність персоналу і технічне оснащення визначаються конкретними можливостями кожної общини. Законодавчо передбачено, що за необхідності (у випадку масштабної НС) федеральні землі будуть мати в розпорядженні всі ресурси Федерації [84]. Сюди входять оперативні ТЗ, супутникова система попередження і федеральні інформаційні ресурси, а також інші необхідні матеріально-технічні ресурси.

В Німеччині на ліквідацію ЛНС залучаються як оперативні ТЗ «класичного компонування», так і БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами. Залежно від необхідного переліку цільових завдань, які стоять перед особовим складом АРФ, може відбуватися замовлення розробки певних видів оперативних ТЗ на

автомобілебудівних заводах. Згідно [85] компанія «GREIS» виконувала замовлення для окремих АРФ, які зосереджені на території різних федеральних земель Німеччини, щодо розробки кузовів-контейнерів до БМАРК з наступними цільовими призначеннями [85, 86]: перевезення вогнегасних засобів до місця проведення гасіння пожеж; транспортування небезпечних хімічних речовин (НХР), які були зібрані під час ліквідації наслідків хімічних аварій; перевезення мішків із піском до зон підтоплень; забір та подача води у процесі проведення пожежогасіння (насосно-рукавні кузови-контейнери), які, згідно [87], є ефективним технічним засобом при оснащення ними підрозділів АРФ з урахуванням основних положень [88]. Вже впродовж тривалого часу в Німеччині кузови-контейнери з автомобілями-носіями застосовуються для надання технічної підтримки підрозділам під час проведення оперативних робіт [89]; при цьому ними оснащені як професійні, так і добровільні АРФ [90, 91]. Згідно [92] використання насосно-рукавних знімних кузовів-контейнерів у комплексі з автомобілями-носіями при подачі води з віддалених вододжерел для забезпечення процесу пожежогасіння має високу ефективність.

Останнім часом у Німеччині актуальною стала загроза терористичних атак [93]. Ліквідація наслідків ЛНС терористичного характеру потребує спеціальної тактики і техніки, які мають бути адаптовані до швидкої зміни умов оперативної обстановки. Згідно [93], з метою забезпечення підтримки життєдіяльності та доставки потерпілих до лікувальних закладів, підрозділи АРФ мають бути укомплектовані автомобілями-носіями зі спеціалізованими знімними кузовами-контейнерами для перевезення поранених і травмованих людей.

В Данії, згідно [73, 94], гасіння пожеж та проведення АРР підпадає під юрисдикцію адміністрації муніципалітетів, які повинні створювати комісію з надання допомоги, яка має відповідати за адміністрування відповідних послуг. Загалом в Данії функціонують як національна пожежно-рятувальна служба, яка підпадає під юрисдикцію міністра оборони, так і муніципальна пожежно-рятувальна служба, за діяльністю якої він здійснює контроль. Окремими нормативними документами в королівстві Данія обмежуються муніципалітети при прийнятті рішень стосовно організації АРФ. Цими документами встановлено перелік

мінімальних вимог стосовно обладнання, яке повинен мати муніципалітет з метою проведення пожежогасіння та АРР, а також вимоги стосовно часу прибуття перших підрозділів до місця виклику. Для того щоб забезпечити всі ці вимоги, муніципалітети можуть самі надавати ці послуги (створювати АРФ), укласти або договори про надання таких послуг з іншими муніципалітетами, або субпідряди із приватними компаніями, які на цьому спеціалізуються. На практиці 2/3 муніципалітетів Королівства Данія уклали контракти з компанією «Falck» [95]. Згідно офіційних даних [96] з 1 січня 2016 року чисельність муніципальних пожежно-рятувальних команд Данії було скорочено з 85 до 20 за рахунок місцевих добровільних формувань.

У Швеції, згідно [97], відповідальність за захист населення від ЛНС несе влада муніципалітетів, що також передбачено документом [98]. На території кожного муніципалітету функціонують свої підрозділи АРФ. З економічних міркувань муніципалітети можуть об'єднувати свої сили для забезпечення належного рівня захисту населення від ЛНС на підконтрольних їм територіях. Згідно [99] при реагуванні на ЛНС підрозділи АРФ використовують як оперативні ТЗ «класичного компонування», так і БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами.

У Великій Британії створення та підпорядкування АРФ підпадає під юрисдикцію окружних рад. Законодавство країни дозволяє об'єднуватися декільком окружним радам з метою створення та організації сумісної служби [73]. Території населених пунктів поділені на окремі зони ризику. Для кожної зони ризику встановлюється окремий норматив часу прибуття перших підрозділів до місця виклику [73]. В документі [100] наведені основні положення щодо порядку реагування на ЛНС, що виникають на території країни. У роботі [101] було встановлено, що для ефективного реагування на ЛНС, які можуть статися на промислових об'єктах, керівник ліквідації НС повинен керуватися розробленими планами реагування.

Особливості оперативно-тактичної обстановки в районах Великої Британії та вимоги щодо порядку реагування на ЛНС впливають на характер комплектування підрозділів оперативними ТЗ.

Згідно [102] з 1990 року спеціальна техніка в Мерсісайдських АРФ базувалася на системі знімних піддонів, тобто БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами. Згідно [103] уряд Великої Британії проводить закупівлю у голландської компанії «HFS» спеціалізованих насосно-рукавних контейнерів, якими планується озброїти окремі підрозділи АРФ країни.

У кожній з дев'яти федеральних земель Австрії функціонує своє державне пожежно-рятувальне товариство. Всі ці товариства об'єднані у Федеральну Асоціацію пожежної служби Австрії [104]. У кожній землі діють свої федеральні закони, які визначають основні положення цивільного захисту на відповідній території [105–107]. У країні також визначено три рівні реагування на НС: муніципальний, федеральний і загальнодержавний. При масштабах НС, коли її негативні чинники загрожують населенню територій сусідніх держав, передбачені відповідні двосторонні угоди про спільну взаємодію з метою проведення оперативних дій [108]. На озброєнні підрозділів АРФ Австрії знаходяться різні види оперативних ТЗ і, зокрема, БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами [109, 110].

При проведенні аналізу БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами таких виробників як: «Bruns» (Німеччина) [111], «Ziegler» (Німеччина) [112], «GREIS» (Німеччина) [86], «Hensel Fahrzeugbau» (Німеччина) [113], «Gimaex» (Німеччина) [114], «ТНТ» (Чехія) [115], «HFS» (Нідерланди) [116], «Rosenbauer» (Австрія) [117], було встановлено, що вони набули широкого розповсюдження та розвитку у країнах Євросоюзу, а особливо у Німеччині [91]. Крім цього, Німецьким інститутом зі стандартизації був розроблений стандарт [118], який регламентує загальні вимоги до безпеки, експлуатаційних характеристик і методів випробування спеціального обладнання пожежних автомобілів, зокрема і зі знімними кузовами-контейнерами. Доповненням до стандарту [118] став стандарт [119], який регламентує вимоги до ТЗ зі знімними кузовами-контейнерами. Стандарт [120] регулює питання оснащення знімних кузовів-контейнерів, які використовуються підрозділами АРФ для задоволення логістичних потреб, зокрема доставки пожежних рукавів до місця проведення оперативних робіт.

БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами здатні забезпечувати виконання широкого переліку оперативних завдань АРФ, а також на сучасному етапі розвитку автомобільної індустрії дозволяють повноцінно замінити будь-який оперативний ТЗ, який перебуває на озброєнні підрозділів, крім автодрабин та автопідйомників.

Таким чином, у країнах Євросоюзу для ліквідації наслідків ЛНС використовуються спеціалізовані й багатофункціональні автомобільні технічні засоби. На основі проведеного аналізу було встановлено, що саме використання багатофункціональних автомобільних технічних засобів дозволяє значно підвищити ефективність процесу реагування АРФ на ЛНС.

Висновки до першого розділу

1. На думку зарубіжних (вітчизняних) фахівців у галузі цивільного захисту, під «ЛНС» слід розуміти небезпечну подію, яка може бути ліквідована одним територіальним підрозділом і за площею не виходить за зону відповідальності цього підрозділу.

2. В розвинутих країнах світу, таких як США, скорочення часу реагування на ЛНС досягається як за допомогою спеціальних технічних засобів, так і застосуванням багатофункціональних кузовів-контейнерів на одній платформі.

3. У країнах Євросоюзу для ліквідації наслідків ЛНС використовуються спеціалізовані й багатофункціональні автомобільні технічні засоби. На основі проведеного аналізу було встановлено, що саме використання багатофункціональних автомобільних технічних засобів дозволяє значно підвищити ефективність процесу реагування АРФ на ЛНС.

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ РЕАГУВАННЯ НА ЛОКАЛЬНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ В УКРАЇНІ

З метою підвищення ефективності реагування підрозділів АРФ на ЛНС, які виникають на території України, необхідно проаналізувати: по-перше – особливості локальних пожеж та їх ліквідації; по-друге – специфіку ліквідації наслідків терористичних актів і побутових вибухів; по-третє – особливості ліквідації хімічних забруднень; по-четверте – шляхи скорочення часу реагування на ЛНС в Україні.

2.1. Особливості локальних пожеж та їх ліквідації

Згідно статистичних даних [31] найбільшу частку виниклих НС від їх загальної кількості на території України складають пожежі, які виникають у будівлях та спорудах, на транспорті, на об'єктах лісового фонду та ін. Найбільш частими місцями виникнення пожеж є будівлі та споруди житлового призначення, тобто зазначені НС територіально не виходять за межі населеного пункту, а для їх ліквідації, згідно аналізу масиву статистичних даних за формою 2/ПЖГ-1 по гарнізонах Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України), яка відноситься до [121], залучаються найчастіше сили і засоби з одного територіального підрозділу, тобто пожежі у переважній більшості мають характер ЛНС.

З проаналізованого вище було встановлено, що процес реагування на локальні пожежі складається з наступних послідовних етапів: диспетчеризації, збору і виїзду сил та засобів, прямування сил та засобів із місць постійної дислокації до місця виклику, оперативного розгортання, а також локалізації й ліквідації.

Тривалість часу диспетчеризації залежить від великої кількості чинників: наявності автоматизованих систем управління і геоінформаційних систем в оперативно-диспетчерській службі населеного пункту; інтенсивності потоку

викликів; чисельності чергових диспетчерів і, що є не менш важливим, від рівня їхньої підготовки.

Час збору і виїзду – це інтервал часу від моменту подачі сигналу «Тривога» диспетчером пункту зв'язку підрозділу АРФ до моменту виїзду оперативних ТЗ із особовим складом до місця ліквідації наслідків ЛНС. Вказаний час є нормативним показником, який не повинен перевищувати однієї хвилини.

Час прямування АРФ до місця виклику – це інтервал часу від моменту виїзду оперативного ТЗ із місця постійної дислокації до моменту його прибуття до місця ліквідації ЛНС. Можливим є також варіант, коли ТЗ може бути направлений на ліквідацію ЛНС у момент прямування до місця постійної дислокації (з місця ліквідації попередньої ЛНС). Згідно досліджень [122] час прямування займає до 20 % від часу ліквідації ЛНС, які пов'язані з виникненням пожеж.

Розміри площі пожежі залежать від значень лінійної швидкості поширення полум'я та тривалості її вільного розвитку. Відповідно чим більшими є тривалість вільного розвитку пожежі та лінійна швидкість поширення полум'я, тим більшою є її площа на момент прибуття підрозділів АРФ, а тому і більшими є обсяги оперативної роботи щодо її локалізації й ліквідації. Пізнє виявлення локальної пожежі та затримка підрозділів АРФ на етапі прямування до місця проведення оперативних робіт може стати причиною залучення додаткових сил та засобів з інших територіально віддалених підрозділів.

Процес виникнення локальних пожеж та часові етапи процесу реагування АРФ на них можна описати певними статистичними закономірностями [123], які дозволяють виконати математичне моделювання вказаних процесів з метою визначення чисельності оперативних підрозділів ДСНС України для відповідного населеного пункту. До таких статистичних закономірностей відносять пуассонівський характер потоку викликів та можливість опису відповідних часових інтервалів законом розподілу Ерланга. Потік ЛНС, які пов'язані з пожежами, входить до загального потоку викликів, який надходить до підрозділів АРФ населеного пункту і також описується зазначеними статистичними закономірностями. Перевірка відповідних статистичних гіпотез для підрозділів АРФ

виконувалася в дослідженнях [5, 6] в межах м. Харкова, а вивчення пуассонівського характеру виникнення НС для регіонів України – у дослідженнях [124]. За результатами досліджень були отримані позитивні висновки.

Можна зробити висновок, що процес виникнення і ліквідації локальних пожеж носить стохастичний характер.

Близько 87 % ЛНС, які виникають на території відповідного населеного пункту, обслуговуються особовим складом не більш як двох оперативних відділень АРФ, тобто до їх ліквідації залучається найчастіше не більше двох оперативних ТЗ. Серед цих ЛНС пожежі становлять близько 80 % від їх загальної кількості. Для ліквідації локальних пожеж можуть залучатися пожежні автоцистерни, автомобілі пінного гасіння, автомобілі порошкового гасіння, автомобілі газового гасіння, автомобілі комбінованого гасіння та інші пожежні ТЗ, які призначені для пожежогасіння. Провівши аналіз практики залучення різних видів пожежних автомобілів до гасіння локальних пожеж, можна дійти висновку, що найчастіше до процесу пожежогасіння залучаються пожежні автоцистерни, які є основним видом оперативних ТЗ у підрозділах АРФ населених пунктів [125].

Таким чином, для ліквідації локальних пожеж використовуються штатні пожежні машини та інші технічні засоби, які знаходяться на озброєнні підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

2.2. Специфіка ліквідації наслідків терористичних актів і побутових вибухів

З моменту анексії Криму та початком проведення антитерористичної операції на сході України надзвичайно актуальним стало питання забезпечення безпеки населення від загрози терористичних актів. Підтвердженням цього є зростання кількості НС, пов'язаних зі встановленням вибухових пристроїв у багатолюдному місці, установі, житловому секторі та транспорті впродовж останніх років [31]. Крім цього, актуальними на території України є ЛНС, пов'язані з побутовими вибухами. Причинами побутових вибухів є самовільне перепланування населенням

домашнього опалення, зберігання у коморах та підвалах житлових будинків вибухонебезпечних і горючих речовин, а також некваліфіковане втручання у роботу газових приладів. Наслідками терористичних актів та побутових вибухів є руйнування і пошкодження будівель, споруд та транспорту, а також значна кількість загиблих і постраждалих із тяжкими травмами.

До переліку оперативних робіт, що виконуються підрозділами АРФ на місці виникнення зазначених ЛНС відносяться: розбирання завалів, пошук та евакуація потерпілих і організація життєзабезпечення постраждалого населення. Крім цього, вибухи можуть супроводжуватися виникненням локальних пожеж, а тому ще одним завдань підрозділів може бути пожежогасіння.

Сучасні терористичні акти, крім підризу вибухових речовин, наїзду на людей автомобілями і розстрілом їх з вогнепальної зброї під час масових заходів, можуть бути також пов'язані із застосуванням НХР, радіоактивних речовин та біологічної зброї. У випадку реалізації терористичних актів із застосуванням вказаних речовин до цільових завдань підрозділів АРФ у процесі проведення оперативних робіт ще додаються виконання розвідки у зонах радіоактивного забруднення та хімічного або біологічного зараження, а також проведення дегазації, дезактивації та знезараження.

Специфіка проведення оперативних робіт підрозділами АРФ внаслідок терористичних актів та побутових вибухів потребує наявності у них спеціальних оперативних ТЗ. Спеціальними оперативними ТЗ для виконання встановленого переліку цільових завдань унаслідок реалізації різноманітних терористичних актів та побутових вибухів на сьогодні в Україні оснащені лише аварійно-рятувальні загони спеціального призначення (АРЗ СП), які знаходяться в кожній області, а також Міжрегіональний і Спеціалізовані центри швидкого реагування ДСНС України. Ці підрозділи є малочисельними та мають значне територіальне віддалення від більшості потенційних місць виникнення ЛНС у населених пунктах. На озброєнні державних пожежно-рятувальних частин (ДПРЧ), які складають основу АРФ на території України та першими прибувають до місця ліквідації наслідків ЛНС, перебувають найчастіше лише пожежні автоцистерни, і тільки у штаті оперативних ТЗ окремих підрозділів є аварійно-рятувальні автомобілі та

автодрабини, які за певних умов можуть виконувати функції автокрану під час розбирання завалів на місці вибуху. За результатами проведеного аналізу можна дійти до висновку, що оснащення більшості підрозділів АРФ, які дислокуються на території населених пунктів, не відповідає сучасним потенційним загрозам.

Таким чином, для ліквідації наслідків терористичних і побутових вибухів, а саме розбирання завалів, пошуку й евакуації потерпілих, організації життєзабезпечення постраждалого населення та проведення пожежогасіння використовується спеціальна техніка, яка знаходиться на озброєнні АРЗ СП та Міжрегіонального і Спеціалізованих центрів швидкого реагування ДСНС України.

2.3. Особливості ліквідації радіоактивних та хімічних забруднень

В аналітичному огляді [31] наведено статистичні дані про рівень ядерної та хімічної безпеки на території України. В нашій державі діють 4 атомні електростанції та ряд підприємств і науково-дослідних установ, у технологічних процесах яких використовуються джерела іонізуючого випромінювання. Функціонують також сховища відпрацьованого ядерного палива і підприємства з видобутку уранових руд. Територією України також здійснюється транзитне перевезення ядерного палива для деяких країн Євросоюзу, а також час від часу відбуваються випадки незаконного обігу радіоактивних речовин. Крім цього, більшість енергоблоків, які діють на території нашої держави були, введені в експлуатацію у 80-х роках ХХ століття, тобто в багатьох із них уже закінчуються проектні терміни експлуатації. Що стосується ризику виникнення НС, пов'язаних з розливами та/або викидами НХР, то, згідно [31], він є високим. На території України функціонують 711 об'єктів, на яких зберігаються або використовуються у виробничій діяльності понад 285 тис. т НХР, а також виконуються транспортні перевезення зазначених речовин залізницею та автомобільними дорогами загального користування. За оцінками вітчизняних фахівців всього до зони можливого хімічного забруднення повністю або частково потрапляє 308

адміністративно-територіальних одиниць, в яких мешкає понад 7 млн осіб [31]. Проаналізувавши статистичні дані, можна дійти висновку, що в Україні існує високий рівень загрози виникнення НС, пов'язаних з радіоактивними та хімічними забрудненнями.

Специфіка проведення оперативних дій підрозділами АРФ під час ліквідації наслідків НС, пов'язаних з радіоактивними і хімічними забрудненнями, є достатньо складною та потребує залучення кваліфікованого особового складу і спеціальних технічних засобів. Аварії, які пов'язані з розливами та/або викидами НХР або радіоактивних речовин, можуть супроводжуватися пожежами та вибухами. Крім цього, за певних умов є високою ймовірність утворення хмари радіоактивного пилу або НХР, перенесення вітром якої може викликати загрозу ураження незахищеного населення. За таких умов проведення оперативних дій підрозділами АРФ у зоні зараження НХР буде ускладнюватися дією агресивного середовища, а у зоні радіоактивного забруднення – необхідністю постійного радіоактивного і дозиметричного контролю та контролю дозових навантажень на особовий склад.

На озброєнні підрозділів ДПРЧ як засоби індивідуального захисту шкіри перебувають загальновійськові захисні комплекти і легкі захисні костюми, а як засоби захисту органів дихання – фільтрувальні протигази та ізолюючі протигази на стисненому повітрі, які не призначені для проведення АРР в агресивних середовищах. Вказані захисні засоби не забезпечують у повному обсязі безпеки особового складу під час проведення оперативних дій у зонах радіоактивних та хімічних забруднень. До переліку видів оперативних робіт при усуненні наслідків радіоактивного та хімічного забруднення необхідно віднести: евакуацію населення, пожежогасіння, розбирання завалів, осадження хмар НХР або радіоактивних речовин, проведення дій щодо локалізації зон розливів НХР або радіоактивних речовин та перешкоджання їх витоку з ємностей і резервуарів, виконання дезактивації та дегазації, здійснення радіаційного та хімічного контролю зони зараження. Наведений перелік оперативних робіт потребує використання спеціальних технічних засобів, які штатно не перебувають у повному обсязі в ДПРЧ.

Виконувати повний перелік оперативних робіт із забезпечення необхідного кваліфікованого підходу та належного рівня безпеки праці можуть лише підрозділи АРЗ СП та Міжрегіональний і Спеціалізовані центри швидкого реагування ДСНС України при залученні спеціальних машин радіаційного та хімічного захисту, які перебувають у їх штаті. При цьому час реагування вказаних підрозділів АРФ через їх територіальну віддаленість від потенційних місць виникнення НС може бути достатньо тривалим, що загрожує виникненням значних площ радіоактивних і хімічних забруднень та зростанням ризику загибелі і травмування населення.

Таким чином, ліквідація наслідків радіоактивних та хімічних забруднень здійснюється спеціальними машинами радіаційного й хімічного захисту, які знаходяться на озброєнні АРЗ СП та Міжрегіонального і Спеціалізованих центрів швидкого реагування ДСНС України.

2.4. Шляхи скорочення часу реагування на локальні надзвичайні ситуації в Україні

Загальний час реагування на ЛНС складається з тривалості послідовних етапів, які характеризуються певними часовими інтервалами.

Інтервал часу, який витрачається на диспетчеризацію, можна скоротити за допомогою автоматизованих систем диспетчерського управління. Згідно [126] в середньому для міст час диспетчеризації становить від однієї до трьох хвилин, а для міст, де впроваджені системи автоматизованого диспетчерського управління – від 0,5 до 1 хвилини.

Час збору та виїзду підрозділів є нормативним показником, який на практиці не перевищує 1 хвилини, а тому дещо покращити цей показник можна лише шляхом постійних тренувань особового складу підрозділів АРФ, але при цьому він зменшиться несуттєво.

Згідно [122] час прямування підрозділів до місця виклику становить близько 20 % від часу ліквідації ЛНС. Як було визначено в роботі [11], відомо достатньо

багато шляхів скорочення часу прямування підрозділів до місця виклику. Одним із них є створення нових підрозділів АРФ на території населеного пункту, що дозволяє скоротити райони їх обслуговування; за рахунок цього зменшиться й час прямування. Розглянутий варіант є достатньо матеріально затратним, що пов'язано з будівництвом підрозділів АРФ, купівлею оперативних ТЗ і подальшими витратами, пов'язаними з їх експлуатацією, а також утриманням штату пожежних-рятувальників. Іншим варіантом є проведення передислокації уже існуючих підрозділів з урахуванням специфіки оперативної обстановки, яка склалася на території населеного пункту, що також, згідно [74], дозволяє скоротити показник часу прямування, але так само потребує значних матеріальних затрат.

Важливим чинником, який впливає на час прямування, є початковий вибір маршруту руху. Для вибору маршруту руху можуть використовуватися різноманітні геоінформаційні системи; деякі з них є інтегрованими в автоматизовані системи диспетчерського управління. В роботах [10, 14] проведено аналіз відомих геоінформаційних систем і автоматизованих систем диспетчерського управління, які використовуються в діяльності АРФ з метою скорочення часу прямування підрозділів до місця виклику. У вказаних роботах також було визначено ряд проблем, які ускладнюють процес впровадження цих систем у діяльність АРФ.

На час прямування підрозділів АРФ до місця виклику впливають також межі їх району обслуговування. В роботі [122] були розроблені наукові підходи, які дозволяють виконати оптимальне районування зон відповідальності підрозділів АРФ за критерієм часу прямування до місця виклику.

Достатньо вартісним варіантом скорочення часу прямування підрозділів АРФ до місця ліквідації ЛНС є впровадження автоматизованих систем управління дорожнім рухом, які дозволяють створювати «зелений коридор» для оперативних ТЗ.

На час прямування підрозділів АРФ до місця ліквідації ЛНС також впливають особливості комплектування їх оперативними ТЗ. Пояснюється це тим, що не в кожному підрозділі є всі необхідні види оперативних ТЗ і їх особовий склад не може виконувати весь перелік задач, наведений в [29]. Згідно офіційних даних [127] понад

80 % оперативних ТЗ по всій Україні є технічно застарілими та потребують списання, що також впливає на показник імовірності їх безвідмовної роботи, який можна вважати одним із показників оперативної готовності підрозділів. У випадках, коли оперативний ТЗ із технічних причин не може виїхати на ліквідацію ЛНС або коли у підрозділі відсутній необхідний вид ТЗ, що пов'язано зі специфікою проведення оперативних робіт на місці виклику, проводиться їх залучення з інших підрозділів, які можуть бути достатньо територіально віддаленими. Варіантом вирішення цієї проблеми є комплектування підрозділів різними видами ТЗ, що є достатньо затратним шляхом підвищення рівня їх оперативної готовності до виконання дій за призначенням і скорочення часу прямування на окремі специфічні види ЛНС. Із проведеного в розділі 1 аналізу було встановлено, що у розвинутих країнах світу та в багатьох країнах Євросоюзу зазначена проблема вирішувалася шляхом озброєння підрозділів АРФ БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами. Це дозволяє скоротити час реагування на специфічні ЛНС, пов'язані з проведенням АРР, ліквідацією хімічних і радіоактивних забруднень, локалізацією зон підтоплень територій та ін. Крім цього, один БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами дозволяє виконувати широкий перелік цільових завдань, тобто здатен замінити ряд спеціальних оперативних ТЗ «класичного компонування», що пояснює його економічну ефективність у процесі експлуатації. Оснащення підрозділів БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами дозволяє також частково вирішити проблему із технічно застарілим транспортним парком та підвищити показник його безвідмовної роботи.

Необхідність та перспективи оснащення підрозділів АРФ України БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами були встановлені в роботі [12].

Слід відмітити, що у роботі [125] було встановлено відсутність науково-обґрунтованих принципів визначення потреби в оперативних ТЗ АРФ, а виявлено лише загальні рекомендації щодо розрахунку кількості підрозділів для населених пунктів. Ця обставина може ускладнити процес озброєння підрозділів АРФ БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами.

Таким чином, найбільш перспективним для України, з метою скорочення часу реагування на ЛНС, є шлях створення багатофункціональних кузовів-контейнерів і оснащення ними територіальних підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

Висновки до другого розділу

1. Для ліквідації локальних пожеж використовуються штатні пожежні машини та інші технічні засоби, які знаходяться на озброєнні підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

2. Для ліквідації наслідків терористичних і побутових вибухів, а саме розбирання завалів, пошуку й евакуації потерпілих, організації життєзабезпечення постраждалого населення та проведення пожежогасіння використовується спеціальна техніка, яка знаходиться на озброєнні АРЗ СП та Міжрегіонального і Спеціалізованих центрів швидкого реагування ДСНС України.

3. Ліквідація наслідків радіоактивних та хімічних забруднень здійснюється спеціальними машинами радіаційного й хімічного захисту, які знаходяться на озброєнні АРЗ СП та Міжрегіонального і Спеціалізованих центрів швидкого реагування ДСНС України.

4. Найбільш перспективним для України, з метою скорочення часу реагування на ЛНС, є шлях створення багатофункціональних кузовів-контейнерів і оснащення ними територіальних підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ ФОРМУВАНЬ НА ЛОКАЛЬНІ НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

Для розробки математичної моделі у першу чергу сформулюємо початкові умови вирішення задачі. Потім визначимо граничні умови вирішення задачі. Після чого поступовим вирішенням задачі синтезуємо шукану математичну модель.

3.1. Формування початкових умов вирішення задачі

З метою формування початкових умов вирішення задачі необхідно спершу охарактеризувати технічні засоби, які перебувають на озброєнні АРФ, а потім використати математичні залежності для характеристики аварійно-рятувальних сил та засобів.

3.1.1. Характеристика технічних засобів аварійно-рятувальних формувань

ТЗ, якими оснащені підрозділи ДСНС України, поділяються на оперативні та господарські [128]. До оперативних відносять ТЗ, які беруть безпосередню участь у ліквідації НС, а до господарських – ТЗ, що залучаються для матеріально-технічного забезпечення життєдіяльності підрозділів і технічних робіт, що не пов'язані з ліквідацією НС.

Основу АРФ ДСНС України являють собою сукупність ДПРЧ, АРЗ СП, один Міжрегіональний та три Спеціалізованих центри швидкого реагування ДСНС України, а також Спеціальний авіаційний загін Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. На озброєнні зазначених підрозділів знаходяться як пожежні машини, так і спеціальні ТЗ, інженерна та авіаційна техніка.

Відповідно до завдань даного дослідження необхідно детально розглянути конструктивні особливості та цільове призначення пожежних машин і спеціальних ТЗ, якими оснащені підрозділи АРФ.

Призначення, вимоги щодо комплектування та компонування ряду оперативних ТЗ, які знаходяться на озброєнні підрозділів ДСНС України, наведені в документах [129, 130].

Найбільш поширеним видом пожежних машин, якими оснащена більшість підрозділів АРФ, є пожежні автоцистерни. Всі пожежні автоцистерни змонтовані на шасі вантажних автомобілів звичайної й підвищеної прохідності. Конструктивно вони складаються з двигуна, шасі, кабіни і кузова, цистерни та пінобака, додаткової трансмісії на насос, насосної установки і вакуумної системи, водопінних комунікацій та додаткових систем (обігріву, охолодження, сигналізації та ін.). Крім цього, у відсіках пожежних автоцистерн знаходиться певний набір пожежно-технічного спорядження. Більшість пожежних автоцистерн, які знаходяться на озброєнні підрозділів АРФ України, змонтовані на шасі таких вантажних автомобілів як: ГАЗ, ЗІЛ, МАЗ, УРАЛ, КраЗ та КамАЗ. Окремі підрозділи можуть бути оснащені пожежними автоцистернами, змонтованими на шасі вантажних автомобілів, що виготовляються у країнах Євросоюзу. Такий широкий перелік базових шасі ускладнює процес експлуатації цих ТЗ у підрозділах АРФ, що пов'язано з проведенням технічного обслуговування (ТО) та ремонтів. Пожежні автоцистерни забезпечують виконання наступних цільових задач: доставка особового складу, спеціального спорядження і засобів пожежогасіння до місця ліквідації НС та подача водних і водопінних вогнегасних речовин до осередку пожежі. Пожежні автоцистерни вивозять до місця пожежі певний запас води та піноутворювача. Завдяки тому, що пожежна автоцистерна оснащена пінобаком, в якому знаходиться піноутворювач, та стаціонарним пінозмішувачем, забезпечується подача повітряно-механічної піни різної кратності, що залежить від виду застосовуваного пристрою подачі.

У процесі проведення пожежогасіння підрозділами також використовуються автомобілі пінного гасіння, призначені для доставки особового складу та запасу

піноутворювача і спеціального спорядження до осередку пожежі. Завдяки наявності насосної установки можливий забір води від пожежних гідрантів, відкритих вододжерел і резервуарів та подача водопінних вогнегасних речовин до осередку пожежі. Вказані ТЗ застосовуються на пожежах, під час ліквідації яких необхідні значні об'єми водопінних вогнегасних речовин (гасіння нафти і нафтопродуктів, підвалів і кабельних тунелів, підстанцій та ін.). Конструктивно вони змонтовані на шасі вантажних автомобілів.

Крім водних та водопінних вогнегасних речовин, у процесі пожежогасіння можуть також застосовуватися вогнегасні порошки і газові вогнегасні речовини. З метою їх доставки та подачі до осередку пожежі застосовуються пожежні автомобілі порошкового та газового пожежогасіння. На цих автомобілях змонтовані ємності для зберігання і перевезення вогнегасних речовин та спеціальні установки для їх подачі. Конструктивно вони змонтовані на шасі вантажних автомобілів. Зазначеними ТЗ оснащені лише спеціалізовані та окремі об'єктові підрозділи АРФ.

Пожежні автомобілі комбінованого гасіння призначені для доставки особового складу та вогнегасних речовин до місця ліквідації пожежі, подачі різних вогнегасних речовин до осередку горіння та доставки пожежно-технічного спорядження. Конструктивно вони змонтовані на шасі вантажних автомобілів та перебувають на озброєнні у спеціалізованих та окремих об'єктових підрозділах АРФ.

З метою забору води з відкритих вододжерел та подавання водних і водопінних вогнегасних речовин на значні відстані застосовуються насосно-рукавні автомобілі й пожежні автонасосні станції. Вказані автомобілі оснащені потужною насосною установкою, запасом піноутворювача та пожежними рукавами. Як допоміжні автомобілі для забезпечення подачі водних і водопінних вогнегасних речовин на значні відстані використовуються також рукавні автомобілі. Основним їх призначенням є доставка запасу рукавів до місця проведення оперативних робіт, а також механізоване прокладання та збір рукавних ліній. Крім цього, зазначені автомобілі забезпечують оперативну доставку особового складу та спорядження до місця проведення оперативних робіт. Конструктивно вони змонтовані на шасі

вантажних автомобілів. Такими оперативними ТЗ оснащені лише спеціалізовані підрозділи АРФ.

Пожежні автомобілі газодимозахисту, як і решта пожежних машин, призначені для доставки особового складу до місця пожежі та забезпечення проведення робіт у непридатному для дихання середовищі. До комплекту їхнього оснащення входять: електрогенератори, ізолюючі засоби захисту органів дихання, переносні димососи, тепловідбивні костюми, засоби освітлення та ін. Для забезпечення виконання оперативних робіт підрозділами у задимлених приміщеннях застосовуються також пожежні автомобілі димовидалення, споряджені комплектом обладнання для видалення диму, подачі свіжого повітря з метою провітрювання приміщень та подачі повітряно-механічної піни високої кратності. Вказані види автомобілів змонтовані на шасі вантажних автомобілів та перебувають на озброєнні спеціалізованих підрозділів АРФ.

Під час проведення оперативних робіт на тривалих та складних пожежах застосовуються автомобілі зв'язку та освітлення, а також штабні пожежні автомобілі, які змонтовані на шасі автобусів. Ці автомобілі призначені для забезпечення керування підрозділами на пожежі, здійснення зв'язку керування і зв'язку інформації, а також освітлення місця проведення оперативних робіт. Озброєні цими видами ТЗ лише окремі спеціальні підрозділи АРФ, а до процесу проведення оперативних робіт вони залучаються достатньо рідко.

Пожежні автомобілі «першої допомоги» призначені для доставки особового складу, вогнегасних засобів та обладнання до місця проведення оперативних робіт, а також подачі водних та водопінних вогнегасних речовин до осередку пожежі, забору води від зовнішніх вододжерел, виконання розкриття різних конструктивних елементів та проведення розвідки. Вітчизняні пожежні автомобілі «першої допомоги» змонтовані на шасі малотоннажних автомобілів. При цьому використовуються шасі автомобілів ГАЗ, Ford, Mercedes-Bens, Volkswagen, Iveco-Turbo та ін. Вказані автомобілі забезпечують швидке прибуття підрозділів до місця ліквідації НС в умовах міста з високою щільністю забудови та високою інтенсивністю руху транспорту. Деякі з цих автомобілів мають модульне виконання,

що дозволяє завантажувати в їх відсіки портативні контейнери з певним набором обладнання на етапі збору до місця виклику. У зв'язку з оснащенням цих ТЗ штатною насосною установкою і монтажем на шасі малотоннажного автомобіля, вони мають невеликі об'єми вільного простору у відсіках, що не дозволяє виконувати доставку до місця виклику великогабаритного спорядження. Зазначеним видом автомобілів забезпечені окремі підрозділи АРФ міст.

Автопідйомниками та автодрабинами забезпечені окремі підрозділи АРФ населених пунктів. Автодрабини призначені для підйому пожежних-рятувальників на верхні поверхи будівель і споруд та проведення рятувальних робіт на пожежах, під час ліквідації наслідків аварій та стихійних лих. Крім цього, підрозділи на автодрабинах при взаємодії з особовим складом на пожежних машинах забезпечують подачу вогнегасних речовин на верхні поверхи, здійснюють рятування людей, евакуацію майна, подачу лафетного ствола, закріпленого на вершині драбини. Деякі з моделей автодрабин, за умови перебування у складеному стані комплекту колін, можуть використовуватися для підйому вантажів. Можливе також застосування автодрабин та автопідйомників для освітлення місця проведення оперативних робіт підрозділами, за умови розміщення на них прожекторів. Вказані автомобілі змонтовані на шасі вантажних автомобілів. Ними оснащені окремі підрозділи АРФ населених пунктів.

На оснащенні спеціалізованих підрозділів АРФ перебувають спеціальні аварійно-рятувальні машини, які призначені для оперативної доставки рятувальників та спеціального обладнання до місця ліквідації НС, виконання АРР та інших невідкладних робіт, забезпечення заходів щодо пошуку постраждалих, рятування людей, заблокованих внаслідок ДТП, і надання їм першої медичної допомоги, ліквідації локальних осередків, ведення радіаційної й хімічної розвідки, забезпечення зв'язку та оповіщення під час проведення оперативних робіт. Такі машини, залежно від типу, монтуються на шасі легкових, вантажопасажирських та вантажних автомобілів підвищеної прохідності. Окремі типи цих машин можуть бути оснащені гідравлічними кран-маніпуляторами. До комплекту їх обладнання входять: різноманітний аварійно-рятувальний інструмент, первинні засоби

пожежогасіння, гірничорятувальне спорядження, надувні човни, електрогенератори, індивідуальні засоби захисту шкіри та органів дихання, гідрокостюми, кислотостійкі костюми, засоби освітлення та зв'язку, лебідки, засоби надання першої медичної допомоги та ін.

На озброєнні піротехнічних розрахунків знаходяться спеціальні піротехнічні машини та оперативні водолазні піротехнічні машини, які призначені для доставки особового складу, спеціального обладнання, вибухових матеріалів до місця виявлення вибухонебезпечних предметів та їх транспортування до місця знищення, а також для зв'язку і оповіщення під час виконання завдань із розмінування. Такі автомобілі монтуються на шасі легкових, вантажопасажирських та вантажних автомобілів підвищеної прохідності. Залежно від типу машини можуть комплектуватися: засобами бронезахисту, індивідуальними засобами захисту органів дихання і шкіри, засобами зв'язку та освітлення, засобами для перевезення вибухових речовин та засобами підризу, засобами першої медичної допомоги, гідравлічними маніпуляторами, лебідками, гідрокостюмами, мобільними водолазними барокамерами, переносними компресорами для заповнення балонів, комплектами для підводного різання і зварювання та інше.

На озброєнні спеціалізованих підрозділів АРФ перебувають спеціальні машини радіаційного та хімічного захисту. Вказані ТЗ призначені для оперативної доставки рятувальників та спеціального обладнання до місця ліквідації НС, а також проведення дегазації, дезактивації, дезінфекції й комплексу робіт щодо ліквідації наслідків НС радіаційного та хімічного характеру. Спеціальні машини радіаційного та хімічного захисту монтуються на шасі легкових повнопривідних автомобілів, вантажних машин підвищеної прохідності на колісній або гусеничній базі та на шасі вантажопасажирських машин. Залежно від типу вони можуть бути споряджені: переносними приладами радіаційної й хімічної розвідки та газового контролю; індивідуальними дозиметрами для екіпажу; комплектами пневмопластирів, бандажів і клинків; обладнанням для відбору проб; гумовими ємностями для спеціальних речовин; метеорологічними комплектами; засобами зв'язку та освітлення; захисними кислотостійкими костюмами, фільтрувальними та

ізолюючими протигазами; гідравлічним аварійно-рятувальним інструментом; лебідками та ін.

Для задоволення потреб підрозділів із життєзабезпечення та перевезень різноманітних вантажів (паливно-мастильних матеріалів, будівельних матеріалів, спорядження до місць проведення випробувань та інше) використовуються ТЗ на шасі вантажних автомобілів з відкритим або закритим кузовом. Зазначені автомобілі перебувають на озброєнні деяких підрозділів АРФ.

Таким чином, за результатами проведеного аналізу було встановлено, що більшість оперативних ТЗ, якими оснащені підрозділи АРФ України, не є адаптивними, тобто кожен окремий автомобіль має достатньо вузький перелік цільових призначень, який не може бути оперативно змінений через особливості їх компонування. У зв'язку з цим, в роботі для таких автомобілів було введено термін «оперативні ТЗ класичного компонування». Маючи достатньо вузьку спеціалізацію, більшість спеціальних ТЗ знаходяться на озброєнні лише окремих спеціалізованих підрозділів АРФ, а тому суть задачі, яка вирішується в роботі, полягає у скороченні часу реагування.

3.1.2. Використання математичних залежностей для характеристики аварійно-рятувальних сил та засобів

Сукупність підрозділів АРФ населеного пункту утворюють по суті логістичну систему, яка дозволяє реалізувати функцію реагування на ЛНС, що можна представити як сукупність об'єктів у загальному вигляді:

$$ЛС = \langle \{АРФ\}; \{ЛНС\} \rangle, \quad (3.1)$$

де ЛС – логістична система;

$\{АРФ\}$ – сукупність підрозділів АРФ;

$\{\text{ЛНС}\}$ – сукупність ЛНС.

Відповідно до теорії логістики підрозділи АРФ, які мають у своєму розпорядженні сукупність сил та засобів, по суті є «постачальниками послуг» з ліквідації ЛНС.

Використовуючи апарат теорії множин можна представити метод вибору видів і чисельності знімних кузовів-контейнерів та автомобілів-носіїв як сукупність наступних складових:

$$M = \{\{X\}, \{Z\}, K\}, \quad (3.2)$$

де $\{X\}$ – впливи зовнішнього середовища, які не можуть бути змінені у процесі прийняття управлінського рішення, але мають бути при цьому враховані (граничне значення радіуса району обслуговування; характеристики маршруту руху по ВДМ (кількість регульованих і нерегульованих перехресть, кількість поворотів вправо та вліво, ширина проїжджої частини, кількість смуг руху, інтенсивність руху транспортних потоків та ін.));

$\{Z\}$ – вхідні впливи, які можуть бути змінені у процесі прийняття управлінського рішення (види і чисельність знімних кузовів-контейнерів та автомобілів-носіїв);

$\{K\}$ – критерій ефективності.

Як критерій ефективності може виступати показник середнього часу доставки засобів та оснащення для виконання певного цільового завдання до місця ліквідації ЛНС із підрозділів АРФ, який є складовою показника загального часу реагування.

Досягнення позитивного ефекту маємо за наступної умови:

$$\tau_{\text{ср.дост.}}^{\text{ДО}} > \tau_{\text{ср.дост.}}^{\text{ПІСЛЯ}}, \quad (3.3)$$

де $\tau_{\text{ср.дост.}}^{\text{ДО}}$ – показник середнього часу доставки засобів та спорядження до місця ліквідації ЛНС із підрозділів АРФ перед озброєнням їх автомобілями-носіями зі знімними кузовами-контейнерами, хвилин;

$\tau_{\text{ср.дост.}}^{\text{ПІСЛЯ}}$ – показник середнього часу доставки засобів та спорядження до місця ліквідації ЛНС із підрозділів АРФ після озброєння їх автомобілями-носіями зі знімними кузовами-контейнерами, хвилин.

Комплексним критерієм ефективності виступає загальний час реагування підрозділів АРФ на ЛНС, які виникають на території відповідного населеного пункту. Загальний час реагування підрозділів АРФ на ЛНС залежить від тривалості окремих етапів:

$$\tau_{\text{реагування}} = \tau_{\text{дисп.}} + \tau_{\text{зб.в.}} + \tau_{\text{прямув.}} + \tau_{\text{о/р}}, \quad (3.4)$$

де $\tau_{\text{дисп.}}$ – час диспетчеризації, хвилин;

$\tau_{\text{зб.в.}}$ – час збору та виїзду особового складу, хвилин;

$\tau_{\text{прямув.}}$ – час прямовання оперативних ТЗ до місця ліквідації ЛНС, хвилин;

$\tau_{\text{о/р}}$ – час виконання оперативного розгортання на місці ліквідації ЛНС, хвилин.

Час доставки при цьому буде складатися з:

$$\tau_{\text{доставки}} = \tau_{\text{зб.в.}} + \tau_{\text{прямув.}} \quad (3.5)$$

Оснащення підрозділів АРФ автомобілями-носіями зі знімними кузовами-контейнерами буде впливати на час збору і виїзду підрозділу. У випадках, коли на автомобіль-носії завантажений кузов-контейнер певного цільового призначення і за умови виникнення деякої ЛНС, у процесі проведення оперативних робіт на якій виникне потреба саме у цих засобах та оснащенні, час збору і виїзду буде таким самим, як і при озброєнні підрозділів оперативними ТЗ «класичного компонування».

У випадках, коли до АРФ надходить повідомлення про виникнення ЛНС, процес ліквідації якої потребуватиме наявності інших засобів та оснащення, ніж ті, які перебувають у даний момент у кузові-контейнері на автомобілі-носії, тоді доведеться проводити операції по заміні кузова-контейнера у цьому підрозділі, або, у випадках їх відсутності, залучати необхідний вид оперативних ТЗ з іншого підрозділу. Крім цього, на час збору і виїзду буде у значній мірі впливати сам порядок розміщення знімних кузовів-контейнерів та автомобілів-носіїв у підрозділі АРФ. Пояснити це можна тим, що у випадках, коли перед необхідним кузовом-контейнером знаходиться декілька інших, збільшується кількість вантажно-розвантажувальних операцій, а тому зростає і час збору та виїзду.

На час прямування автомобіля-носія зі знімним кузовом-контейнером без урахування впливів фізико-географічних умов та часу на виконання інженерних заходів підрозділами АРФ щодо підготовки маршрутів руху до місця ліквідації наслідків ЛНС (τ_1) будуть впливати наступні чинники:

$$\tau_1 = \frac{L}{V_{\text{ср.}}} \cdot K_{\text{мр.}}, \quad (3.6)$$

де L – дистанція між місцем дислокації підрозділу АРФ та місцем виникнення ЛНС, км;

$V_{\text{ср.}}$ – середня швидкість прямування оперативних ТЗ по ВДМ населеного пункту, км/год;

$K_{\text{мр.}}$ – коефіцієнт, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху по ВДМ (кількість регульованих і нерегульованих перехресть, кількість поворотів вправо та вліво, ширина проїжджої частини, кількість смуг руху, інтенсивність руху транспортних потоків та ін.) на час прямування підрозділів АРФ до місця виникнення ЛНС.

Таким чином, початкові умови вирішення задачі реагування на ЛНС підрозділами АРФ визначаються технічним оснащенням, підтриманням певного

рівня технічної готовності й навчанням особового складу цих підрозділів, що враховує функціональна залежність, яка визначає час реагування.

3.2. Визначення граничних умов задачі

З метою визначення граничних умов задачі необхідно спершу проаналізувати специфіку фізико-географічних умов регіону, а потім використати математичні залежності для врахування їх впливу на дії АРФ.

3.2.1. Специфіка фізико-географічних умов регіону

До фізико-географічних умов регіону відносяться:

- особливості рельєфу місцевості;
- ступінь урбанізації території;
- наявність рік, озер, водоймищ;
- кліматичні умови;
- місця дислокації підрозділів АРФ;
- місця розташування об'єктів, тобто місць, де існує ймовірність виникнення ЛНС.

Особливості рельєфу місцевості, наявність водних перешкод і кліматичні умови впливають на час та характер прямування оперативних ТЗ до місця виклику. При горбистому і гірському типах рельєфу (більшість західних регіонів України та територія АР Крим) ускладнюється рух оперативних ТЗ до місць ліквідації ЛНС, що пояснюється необхідністю подолання складних підйомів та спусків. Такі природні умови висувають певні вимоги до оперативних ТЗ щодо їх прохідності, динамічних характеристик та запасу потужності.

Наявність на території регіону водних перешкод зумовлює зростання часу прямування підрозділів, що пояснюється саме затратами часу на їх подолання. На

ділянках водних перешкод, які обладнані мостами, може знижуватися швидкість руху оперативних ТЗ, а також взагалі не допускати можливість їх пересування через перевищення габаритів (за масою, шириною та/або висотою). У разі відсутності мостів та неможливості подолання водних перешкод убрід, підрозділи АРФ повинні будуть проводити комплекс інженерних робіт щодо виконання переправ, що потребує залучення інженерної техніки та значно збільшує тривалість реагування на ЛНС.

Кліматичні умови справляють вплив на стан дорожнього покриття. Навесні, влітку та восени під час випадіння тривалих зливових дощів в окремих регіонах України існує загроза розмивання ділянок дороги, крім цього; підвищення рівня річок, озер та водоймищ, яке може бути також викликане швидким таненням снігу наприкінці зими та на початку весни, може спричинити підтоплення територій, що впливатиме на зростання часу реагування підрозділів АРФ.

Такі чинники як рельєф місцевості, наявність водних перешкод та кліматичні умови впливають на ступінь урбанізації територій відповідного регіону. На час реагування підрозділів АРФ будуть при цьому впливати характер забудови і особливості ВДМ населеного пункту та інтенсивність руху транспорту. Всі ці чинники будуть впливати на граничне значення радіуса району обслуговування підрозділів АРФ. Згідно [131] граничне значення радіуса району обслуговування підрозділів АРФ населених пунктів не повинно перевищувати 3 км, але на практиці саме через фізико-географічні умови зазначений норматив не завжди виконується. Від значення радіуса району обслуговування підрозділів АРФ напряду буде залежати дистанція прямування від місця їх дислокації до місця ліквідації ЛНС, що також напряду впливатиме на час прямування і в підсумку – на час реагування.

Умовно, якщо використовувати поняття «радіус обслуговування», згідно з [131], то в ідеалі слід уявляти район обслуговування, який на карті має вигляд кола, у центрі якого знаходиться підрозділ АРФ. Звичайно на практиці підрозділи АРФ можуть бути достатньо зміщеними від свого географічного центру району обслуговування. Цим можна пояснити відмінності у показниках часу реагування

підрозділу АРФ на ЛНС, які виникають у крайніх точках його району обслуговування.

Таким чином, фізико-географічні умови регіону впливають на дорожні умови та дистанцію прямування підрозділів АРФ до місця ліквідації ЛНС, що справляє прямий вплив на час реагування.

3.2.2. Використання математичних залежностей для врахування впливу фізико-географічних умов регіону на дії аварійно-рятувальних формувань

З метою врахування впливу фізико-географічних умов на час реагування підрозділів АРФ на ЛНС необхідно ввести ряд чисельних показників. Кожен показник являє собою відносний час, який необхідно затратити підрозділам АРФ на подолання перешкод, які спричинені впливами фізико-географічних умов під час прямування до місця ліквідації ЛНС.

Першим об'єктом фізико-географічних умов (τ_{A1}), який впливає на час реагування, є час подолання підйомів та спусків, який можна визначити за наступною формулою:

$$\tau_{A1} = \sum_{z=1}^z \frac{S_{\Pi/c}}{V_{\Pi/c}}, \quad (3.7)$$

де $S_{\Pi/c}$ – довжина окремої ділянки підйому або спуску, км;

$V_{\Pi/c}$ – середня швидкість подолання окремої ділянки підйому або спуску, км/год;

z – кількість об'єктів фізико-географічних умов та дій підрозділів АРФ, які спрямовані на подолання перешкод, що викликані ними.

Другим об'єктом фізико-географічних умов (τ_{A2}), який впливає на час реагування, є час подолання водних перешкод:

$$\tau_{A2} = \sum_{z=1}^z \frac{S_{\text{ВП.}}}{V_{\text{ВП.}}}, \quad (3.8)$$

де $S_{\text{ВП.}}$ – довжина окремої ділянки водної перешкоди, км;

$V_{\text{ВП.}}$ – середня швидкість подолання окремої ділянки водної перешкоди, км/год.

Третім чинником (τ_{A3}), який впливає на час реагування, є час проведення інженерних робіт підрозділами АРФ, з метою підготовки шляхів руху та подолання перешкод, який можна визначити за наступною формулою:

$$\tau_{A3} = \sum_{z=1}^z \frac{A_{\text{роб.}}}{V_{\text{вик.}}}, \quad (3.9)$$

де $A_{\text{роб.}}$ – обсяг робіт;

$V_{\text{вик.}}$ – середня швидкість виконання робіт.

Обсяг робіт може оцінюватися:

- у метрах, кілометрах, кубічних метрах – при влаштуванні проходів у завалах;
- у метрах, кілометрах, кубічних метрах – під час розчищення ділянок шляху, завалених товстим шаром снігу, що перешкоджає рухові оперативних ТЗ;
- у метрах або кілометрах – під час виконання мостових переправ через ділянки водних перешкод, ярів та канав.

Швидкість виконання робіт при цьому може оцінюватися у: м/год, км/год, м³/год.

Сумарний показник часу (τ_A), який характеризує собою затрачений підрозділами АРФ час на подолання перешкод, які спричинені фізико-географічними умовами, можна визначити наступним чином:

$$\tau_A = \tau_{A1} + \tau_{A2} + \tau_{A3}. \quad (3.10)$$

Для отримання коректних результатів при виконанні математичного моделювання необхідно врахувати обмеження, яке полягає у тому, що, виконуючи оперативні дії, з метою ліквідації наслідків ЛНС, підрозділи АРФ територіально не покидають кордонів відповідного адміністративно-територіального утворення. У вигляді такого обмеження у математичну модель необхідно ввести показник (τ_B), який чисельно дорівнює часу прямування сил та засобів з підрозділу АРФ по ВДМ населеного пункту до найбільш територіально віддаленої точки, яка знаходиться на кордоні відповідного адміністративно-територіального району, що також визначає район обслуговування вказаного підрозділу.

За таких умов кінцева залежність для визначення часу прямування підрозділів АРФ, за умов впливу фізико-географічних умов і проведення інженерних робіт з метою підготовки шляхів руху та подолання перешкод (τ_2), буде мати наступний вигляд:

$$\tau_2 = \tau_A + \tau_B. \quad (3.11)$$

Таким чином, граничні умови вирішення задачі реагування на ЛНС АРФ визначаються фізико-географічними умовами регіону і границями обслуговування територіального підрозділу.

3.3. Послідовність вирішення задачі

Для побудови математичної моделі оцінки часу реагування підрозділів АРФ населеного пункту на ЛНС необхідно виконати синтез запропонованих у роботі залежностей.

В роботі [8] наведено загальний порядок розробки математичної моделі оцінки часу реагування підрозділів АРФ населеного пункту на ЛНС.

Формула (3.4) визначає загальний час реагування підрозділів АРФ на ЛНС, при цьому час диспетчеризації, час збору та виїзду і час оперативного розгортання,

ґрунтуючись на зарубіжному та вітчизняному досвіді проведення оперативних робіт в населених пунктах, можна оцінювати як нормативні або емпіричні (середні) показники. Сумарний час даних періодів – час приведення в оперативну готовність підрозділу АРФ (τ_3) – буде становити:

$$\tau_3 = \tau_{\text{дисп.}} + \tau_{\text{зб.в.}} + \tau_{\text{о/р}} \cdot \quad (3.12)$$

У зв'язку з тим, що на час прямування підрозділів впливає достатньо багато чинників, з метою їх врахування доцільно використати запропоновані в роботі залежності (3.6) та (3.11). Кінцевий показник часу прямування підрозділів до місця ліквідації ЛНС буде отриманий при сумуванні числових значень, отриманих за допомогою залежностей (3.6) і (3.11). У випадках, коли окремі чинники впливу на час прямування підрозділів АРФ, які наведені в залежностях (3.6) і (3.11), за результатами проведення аналізу фізико-географічних умов регіону практично не можуть справляти ніякого впливу, тоді їх необхідно вилучити з розгляду і подальші розрахунки часу реагування виконувати без них.

Важливим є введення коефіцієнта логічного показника ($U_{a/k}$), який відображає наявність певних типів автомобілів, платформ, кузовів-контейнерів та інших технічних засобів у підрозділах АРФ. Цей коефіцієнт може набувати двох значень:

- 0, якщо у підрозділі АРФ, до якого надійшло повідомлення про виникнення ЛНС, відсутні необхідні типи автомобілів, платформ, кузовів-контейнерів та інших технічних засобів;

- 1, якщо у підрозділі АРФ, до якого надійшло повідомлення про виникнення ЛНС, наявні необхідні типи автомобілів, платформ, кузовів-контейнерів та інших технічних засобів.

Коефіцієнт логічного показника $U_{a/k}$ враховує наступна формула:

$$\tau_{\text{реагування}} = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \cdot U_{a/k} \cdot \quad (3.13)$$

Час реагування підрозділів АРФ не може дорівнювати нулю, а тому, коли коефіцієнт логічного показника $U_{a/k} = 0$, то це означає, що виклик автоматично переадресується іншому підрозділу. Затримка часу на переадресацію повідомлення до іншого АРФ при цьому не відбудеться, бо відомості про наявність та стан оперативних ТЗ у підрозділах постійно відслідковуються оперативно-диспетчерською службою оперативно-координаційного центру відповідного територіального органу ДСНС України.

Загальний розв'язок задачі забезпечується вирішенням наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \tau_{\text{реагування}} = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \cdot U_{a/k}, \\ \tau_1 = \frac{L}{V_{\text{ср.}}} \cdot K_{\text{мр.}}, \\ \tau_2 = \tau_A + \tau_B, \\ \tau_3 = \tau_{\text{дисп.}} + \tau_{\text{зб.в.}} + \tau_{o/p}. \end{cases} \quad (3.14)$$

З метою отримання адекватних результатів при оцінці часу реагування АРФ на ЛНС, математичну модель (3.14) було доповнено наступними обмеженнями:

- чисельність автомобілів-носіїв у i -му підрозділі АРФ повинна бути більшою або дорівнювати одиниці;
- чисельність кузовів-контейнерів із цільовим призначенням пожежогасіння в i -му підрозділі АРФ повинна бути більшою або дорівнювати одиниці;
- час реагування АРФ на ЛНС має бути більше нуля.

Оптимізація роботи АРФ може здійснюватися шляхом пошуку мінімального значення часу реагування.

Таким чином, математична модель оцінки часу реагування АРФ на ЛНС являє собою систему із чотирьох залежностей. Перша залежність визначає час реагування як добуток коефіцієнта логічного показника на суму трьох часових інтервалів. Друга залежність визначає перший часовий інтервал як залежність часу реагування від дистанції й середньої швидкості прямування, а також коефіцієнта, який визначає

рівень впливу характеристик маршруту руху вулично-дорожньою мережею на час прямування підрозділів АРФ до місця виникнення ЛНС. Третя залежність визначає другий часовий інтервал, який є залежністю часу реагування від показників, які характеризують собою час, затрачений підрозділами АРФ на подолання перешкод, що спричинені фізико-географічними умовами, а також часу прямування сил та засобів з підрозділу АРФ по вулично-дорожній мережі населеного пункту до найбільш територіально віддаленої точки, яка знаходиться на кордоні відповідного адміністративно-територіального району і відноситься до району обслуговування цього підрозділу. Четверта залежність визначає час приведення в оперативну готовність підрозділу АРФ як суму часу диспетчеризації, часу збору і виїзду та часу оперативного розгортання. Оптимізація роботи АРФ може здійснюватися шляхом пошуку мінімального значення часу реагування.

Висновки до третього розділу

1. Початкові умови вирішення задачі реагування на ЛНС підрозділами АРФ визначаються технічним оснащенням, підтриманням певного рівня технічної готовності й навчанням особового складу цих підрозділів, що враховує функціональна залежність, яка визначає час реагування.

2. Граничні умови вирішення задачі реагування на ЛНС АРФ визначаються фізико-географічними умовами регіону і границями обслуговування територіального підрозділу.

3. Математична модель оцінки часу реагування АРФ на ЛНС являє собою систему із чотирьох залежностей. Перша залежність визначає час реагування як добуток коефіцієнта логічного показника на суму трьох часових інтервалів. Друга залежність визначає перший часовий інтервал як залежність часу реагування від дистанції й середньої швидкості прямування, а також коефіцієнта, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху вулично-дорожньою мережею на час прямування підрозділів АРФ до місця виникнення ЛНС. Третя залежність визначає

другий часовий інтервал, який є залежністю часу реагування від показників, які характеризують собою час, затрачений підрозділами АРФ на подолання перешкод, що спричинені фізико-географічними умовами, а також часу прямування сил та засобів з підрозділу АРФ по вулично-дорожній мережі населеного пункту до найбільш територіально віддаленої точки, яка знаходиться на кордоні відповідного адміністративно-територіального району і відноситься до району обслуговування цього підрозділу. Четверта залежність визначає час приведення в оперативну готовність підрозділу АРФ як суму часу диспетчеризації, часу збору і виїзду та часу оперативного розгортання. Оптимізація роботи АРФ може здійснюватися шляхом пошуку мінімального значення часу реагування.

РОЗДІЛ 4. ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ

Для перевірки достовірності математичної моделі оцінки часу реагування АРФ на ЛНС першочергово обґрунтуємо методику виконання чисельних експериментів, а потім опишемо розроблену лабораторну установку, за допомогою якої було проведено чисельний експеримент. Потім проведемо аналіз комплексного чисельного експерименту.

4.1. Обґрунтування методики проведення чисельних експериментів

Розроблена методика проведення чисельного експерименту передбачає виконання декількох послідовних процедур.

1. Проведення систематизації даних. На цьому етапі необхідно:

- при аналізі потоку викликів, які надходять до АРФ, розділити всі ЛНС, які виникають на території населеного пункту, на окремі групи, наприклад так, як показано на рис. 4.1. Залежно від особливостей оперативної обстановки в населеному пункті можливий поділ і на інші групи. Для кожного окремого підрозділу АРФ необхідно встановити як загальну частоту викликів, так і частоту викликів на виділені групи ЛНС;

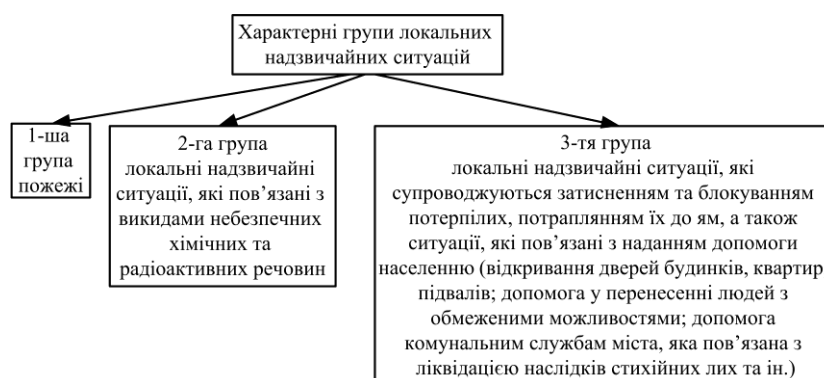


Рисунок 4.1 – Приклад поділу ЛНС, які виникають на території населеного пункту, на окремі групи

- проаналізувати кількість виїздів кожного окремого виду оперативних ТЗ на обслуговування викликів у межах населеного пункту за певний період часу;
- за статистичними даними визначити середній показник часу обслуговування викликів особовим складом АРФ, як для загального потоку викликів, так і для потоків викликів, віднесених до окремих груп залежно від специфіки.

2. *Проведення кластеризації.* Для зменшення обсягу роботи при проведенні аналізу даних і перевірці виконання статистичних гіпотез, які дозволяють описати процес функціонування підрозділів АРФ математичними залежностями, проводять вибіркові статистичні дослідження. З метою визначення однотипних груп даних проводиться процедура кластеризації. В цьому дослідженні процедура кластеризації є необхідною для розбиття на групи однотипних за характеристиками функціонування підрозділів АРФ відповідного населеного пункту. Після проведення кластеризації для кожної групи підрозділів АРФ необхідно перевірити статистичні гіпотези про пуассонівський характер надходження потоку викликів до них, а також гіпотезу про те, що часові інтервали між надходженням викликів можна описати експоненціальним законом розподілу:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t_{з.ср.}}, \quad (4.1)$$

де $F(t)$ – функція розподілу;

e – математична стала (число Ейлера);

λ – частота надходження викликів до підрозділів АРФ, викликів/год;

$t_{з.ср.}$ – середній час обслуговування одного виклику, годин.

3. *Проведення типізації технічних засобів.* Суть цієї процедури полягає у проведенні групування видів оперативних ТЗ підрозділів АРФ за критерієм частоти залучення їх до ліквідації наслідків ЛНС. Після цього, на основі встановлених груп оперативних ТЗ, необхідно встановити перелік їх цільових завдань та сформулювати необхідні типи знімних кузовів-контейнерів для підрозділів АРФ відповідного населеного пункту.

З метою проведення групування видів оперативних ТЗ підрозділів АРФ за критерієм частоти залучення їх до ліквідації ЛНС, необхідно провести АВС-аналіз за методикою, наведеною в роботі [132]. Як критерій для проведення АВС-аналізу необхідно обрати кількість, у відсотках, від загальної кількості виїздів окремо кожного виду оперативних ТЗ на обслуговування викликів у населеному пункті. Для виділення класифікаційних груп АВС необхідно використати графічний метод [132], який полягає у наступному:

- виконується побудова кумулятивної кривої АВС-аналізу за результатами числових значень накопичувального підсумку;
- проводиться пряма, яка повинна з'єднувати крайні точки кривої, й далі, паралельно до неї, проводиться дотична до кривої пряма. Точка дотику і буде визначати видову групу, для якої характер накопичення якісного критерію є однорідним. Вказана точка визначає межі групи А. Надалі ця процедура повторюється, з'єднуються прямою початкова і кінцева точки частини кривої, що залишилася і фіксуються межі наступної групи, проводячи пряму, паралельну до отриманої прямої, в точці дотику із кривою. Ілюстрація цього графічного методу подана на рис. 4.2.

Далі необхідно провести поділ видів оперативних ТЗ на групи А, В і С. Після цього необхідно виділити перелік цільових призначень оперативних ТЗ по кожній окремій групі та, з урахуванням «базових» цільових призначень знімних кузовів-контейнерів, які були визначені у розділі 1, і за допомогою методу одноосібної експертної оцінки або колективної експертної оцінки, визначити типи знімних кузовів-контейнерів для підрозділів АРФ відповідного населеного пункту.

4. Проведення ймовірнісних чисельних оцінок. У роботах [7, 15] проаналізовано існуючі підходи і запропоновано методику та спосіб, які дозволяють визначити необхідні види та чисельність автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів для оснащення підрозділів АРФ відповідного населеного пункту.

Для визначення необхідної чисельності автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів необхідно враховувати наступні показники: частоту надходження потоку викликів до АРФ; структуру викликів; середню тривалість процесу

обслуговування викликів та інтервали часу між надходженням викликів до АРФ; показник емпіричної ймовірності використання автомобілів на викликах, який визначається як відношення кількості викликів, на які одночасно було залучено певну кількість оперативних ТЗ, до їх загальної кількості. Частину названих показників враховують більшість математичних моделей, які входять до складу систем підтримки управлінських рішень в умовах реагування на ЛНС [133], що дозволяє стверджувати про необхідність їх врахування для вирішення вказаної вище задачі.

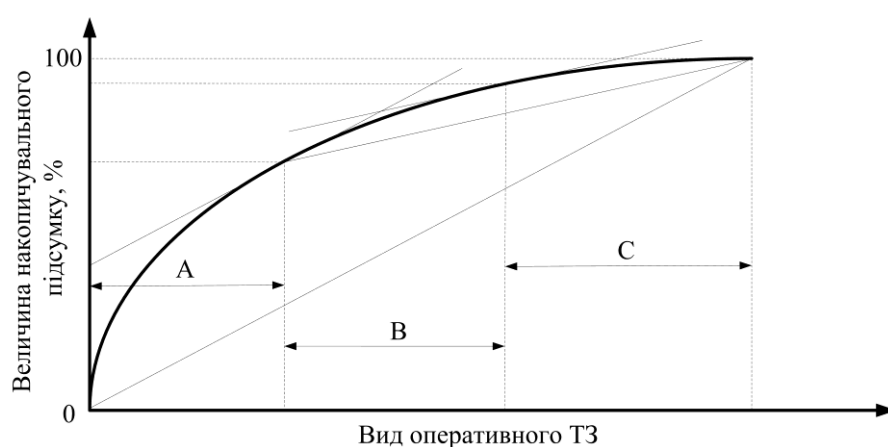


Рисунок 4.2 – Ілюстрація графічного методу визначення меж класифікаційних груп ABC на основі побудованої кумулятивної кривої

При виконанні оцінки зайнятості певної чисельності автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів на місці ліквідації ЛНС, складнощі виникають саме при оцінці останнього показника, бо не завжди його можна визначити за статистичними даними; наприклад, для підрозділів АРФ населеного пункту, які мають низьку інтенсивність залучень до проведення оперативних робіт. У зв'язку з цим виникає необхідність пошуку альтернативного показника, який може бути просто визначений за наявними статистичними даними і який враховував би реальну чисельність оперативних ТЗ, яка виїздить на ліквідацію ЛНС.

Як такий показник можна використати показник приведеної чисельності автомобілів на виклик (k_d), який розраховується за наступною формулою:

$$k_d = \frac{N_{\text{отЗ.}ij}}{j_j}, \quad (4.2)$$

де $N_{\text{отЗ.}ij}$ – загальна кількість оперативних ТЗ, яка була зайнята обслуговуванням загального потоку викликів або специфічних потоків викликів, які можна розділити на окремі групи залежно від особливостей проведення оперативних робіт під час ліквідації наслідків ЛНС;

j_j – загальна кількість викликів, що виникали в населеному пункті за певний період часу, або кількість викликів, які були віднесені до окремої групи залежно від їх специфіки (рис. 4.2).

В чисельнику та знаменнику у формулі (4.2) використовуються показники, які можна отримати за статистичними даними, які відображають процес функціонування АРФ.

У випадках, коли необхідно визначити необхідну загальну чисельність автомобілів-носіїв для населеного пункту, числові значення показників формули (4.2) необхідно визначати при аналізі загального потоку викликів, а при визначенні кузовів-контейнерів до них – при аналізі окремих потоків викликів, процес обслуговування яких має певну специфіку (коли до місця виклику необхідно направляти автомобіль-носіїв з кузовом-контейнером відповідного цільового призначення (пожежогасіння, ліквідація аварій з розливом та/або викидом НХР, проведення АРР на місці ДТП або АРР при раптовому обвалі будівельних конструкцій та ін.)).

Найбільш простим і в той же час зручним способом визначення ймовірності залучення певної чисельності автомобілів-носіїв та відповідних типів кузовів-контейнерів до ліквідації ЛНС у населеному пункті є використання математичних

моделей, які ґрунтуються на пуассонівському законі розподілу. Виконати зазначену ймовірнісну чисельну оцінку можна використавши наступну математичну модель:

$$P_t(w) = (\lambda \cdot t_{з.сп.})^w \cdot e^{-\lambda \cdot t_{з.сп.}} / w!, \quad (4.3)$$

де $P_t(w)$ – ймовірність виникнення w викликів за час t ;

w – кількість можливих одночасних викликів (1, 2, 3 ...).

За математичною моделлю (4.3) можна проводити оцінку ймовірності виникнення певної кількості одночасних викликів у відповідному населеному пункті. Якщо показник λ помножити на показник k_d , то можна отримати показник частоти залучення автомобілів на обслуговування викликів з АРФ:

$$\lambda_{оТЗ.им} = \lambda \cdot k_d, \text{ автомобілів/годину.} \quad (4.4)$$

При підстановці показника $\lambda_{оТЗ.им}$ у математичну модель (4.3) замість показника λ , можна отримати математичну модель, яка дозволяє визначати ймовірність залучення певної чисельності оперативних ТЗ до обслуговування викликів у населеному пункті:

$$P_t(r) = (\lambda_{оТЗ.им} \cdot t_{з.сп.})^r \cdot e^{-\lambda_{оТЗ.им} \cdot t_{з.сп.}} / r!, \quad (4.5)$$

де r – чисельність одночасно залучених оперативних ТЗ на виклик (1, 2, 3 ...).

Розрахунки ймовірностей залучення певної чисельності оперативних ТЗ із підрозділів АРФ на обслуговування викликів у населеному пункті необхідно проводити до виконання наступної умови:

$$P_0 + P_1 + \dots + P_n = 1, \quad (4.6)$$

де $P_0, P_1, P_2 \dots P_n$ – ймовірність того, що обслуговуванням виклику займається 0, 1, 2 ... n оперативних ТЗ.

Суть даної умови полягає у тому, що розрахунки проводяться до моменту, коли не буде визначено повну групу подій, тобто коли сума визначених ймовірностей не буде дорівнювати одиниці.

Необхідну чисельність оперативних ТЗ для підрозділів АРФ населеного пункту необхідно приймати за показником r за умови, що $P_t(r) = 0$. Відповідно до рекомендацій, наведених у роботі [123], з економічних міркувань допускається приймати певні граничні значення показника $P_t(r)$ і, враховуючи їх, обирати необхідну чисельність оперативних ТЗ для комплектування ними підрозділів АРФ населеного пункту.

З метою виконання умови мінімізації часу реагування підрозділів АРФ на ЛНС необхідно ввести обмеження, які полягають у тому, що у кожному окремому підрозділі повинен бути як мінімум один автомобіль-носій та один кузов-контейнер з цільовим завданням пожежогасіння. Вид цільового призначення кузова-контейнера можна пояснити значною частотою виникнення ЛНС, які пов'язані з пожежами, у порівнянні з іншими видами ЛНС на території нашої держави [31], при ліквідації яких залучаються сили та засоби ДСНС України. Розміщення мінімум одного автомобіля-носія в кожному підрозділі АРФ дозволяє забезпечити максимальну щільність оперативних ТЗ на території населеного пункту, тобто при цьому довжина маршруту прямування автомобілів при доставці засобів та спорядження до місць проведення оперативних робіт буде мінімальною. Взяті до уваги обмеження можна представити у наступному вигляді:

$$N_{\text{АРФ},i}^{\text{а-н}} \geq 1, \quad (4.7)$$

$$N_{\text{АРФ},i}^{\text{кк.п}} \geq 1, \quad (4.8)$$

де $N_{\text{АРФ},i}^{\text{а-н}}$ – чисельність автомобілів-носіїв у i -му підрозділі АРФ;

$N_{\text{АРФ},i}^{\text{кк.п}}$ – чисельність кузовів-контейнерів із цільовим призначенням пожежогасіння у i -му підрозділі АРФ.

З метою визначення загальної чисельності автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів, цільове завдання яких пов'язане із проведенням пожежогасіння, для підрозділів АРФ населеного пункту та з метою виконання умови (4.7) і (4.8) можна використати наступні розрахункові формули:

$$N_{\text{АРФ.заг}}^{\text{а-н}} = r_{\text{а-н}} + Q_{\text{АРФ}}, \quad (4.9)$$

$$N_{\text{АРФ.заг}}^{\text{кк.п}} = r_{\text{кк.п}} + Q_{\text{АРФ}}, \quad (4.10)$$

де $N_{\text{АРФ.заг}}^{\text{а-н}}$ – загальна чисельність автомобілів-носіїв для оснащення підрозділів АРФ населеного пункту;

$r_{\text{а-н}}$ – ймовірна чисельність одночасно залучених автомобілів-носіїв на виклик, що визначається з використанням математичної моделі (4.5);

$N_{\text{АРФ.заг}}^{\text{кк.п}}$ – загальна чисельність кузовів-контейнерів із цільовим призначенням пожежогасіння для оснащення підрозділів АРФ населеного пункту;

$r_{\text{кк.п}}$ – ймовірна чисельність одночасно залучених кузовів-контейнерів із цільовим призначенням пожежогасіння на виклик, що визначається з використанням математичної моделі (4.5);

$Q_{\text{АРФ}}$ – загальна чисельність підрозділів АРФ у відповідному населеному пункті.

Наявність у розрахункових формулах (4.9) і (4.10) у якості перших доданків параметрів ймовірної чисельності одночасно залучених автомобілів-носіїв і кузовів-контейнерів із цільовим завданням пожежогасіння на викликах дозволяє врахувати стохастичний характер процесу функціонування АРФ. Другий доданок – загальна чисельність підрозділів АРФ у відповідному населеному пункті – у розрахункових формулах (4.9) і (4.10) забезпечує виконання умов (4.7) і (4.8). Крім цього, на практиці трапляються випадки, коли одночасно на ліквідацію ЛНС може залучатися

понад 50 % наявних сил та засобів з підрозділів АРФ, а тому другий доданок формул (4.7) і (4.8) ще дозволяє максимізувати ймовірність того, що на наступні виклики, які будуть виникати на території населеного пункту, будуть негайно відправлені автомобілі-носії з кузовами-контейнерами, тобто затримки або відмови в обслуговуванні викликів не станеться.

З метою визначення загальної чисельності кузовів-контейнерів, які мають цільові завдання, відмінні від пожежогасіння, при розрахунках необхідно врахувати долю специфічних викликів від загальної чисельності викликів, процес обслуговування яких потребує саме залучення спеціалізованих кузовів-контейнерів (наприклад, кузовів-контейнерів для ліквідації ЛНС, які пов'язані з розливами та/або викидами НХР і радіаційно-небезпечних речовин). Розрахувати це можна за наступною формулою:

$$N_{\text{АРФ.заг}}^{\text{ккі}} = r_{\text{кк.}j} + \lceil \zeta_j \cdot Q_{\text{АРФ}} \rceil, \quad (4.11)$$

де $N_{\text{АРФ.заг}}^{\text{ккі}}$ – загальна чисельність кузовів-контейнерів з j -м цільовим призначенням, відмінним від пожежогасіння, для оснащення підрозділів АРФ населеного пункту;

$r_{\text{кк.}j}$ – ймовірна чисельність одночасно залучених кузовів-контейнерів з j -м цільовим призначенням, відмінним від пожежогасіння, на виклик, що визначається з використанням математичної моделі (4.5);

ζ_j – доля викликів від їх загальної кількості, які надходять до АРФ населеного пункту, специфіка яких потребує саме залучення кузовів-контейнерів з відповідним j -м цільовим призначенням.

У розрахунковій формулі (4.11) добуток $\zeta_j \cdot Q_{\text{АРФ}}$ необхідно округлювати у більшу сторону до цілого числа.

У випадках, коли за результатами розрахунків загальна визначена чисельність кузовів-контейнерів певного j -го типу є більшою за чисельність автомобілів-носіїв, необхідно кількість перших дорівняти до кількості останніх. Вказану умову можна пояснити тим, що кузови-контейнери до місця виклику доставляються саме

автомобілями-носіями, а у випадку відсутності необхідної кількості останніх зробити це за мінімальний термін буде неможливо.

5. *Виконання перерозподілу технічних засобів.* З метою виконання умов (4.7) і (4.8) та мінімізації часу реагування оперативно-рятувальних сил на ЛНС необхідно виконати перерозподіл визначеної загальної чисельності автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів по підрозділах АРФ населеного пункту з урахуванням також оперативно-тактичної обстановки в районах їх обслуговування.

Виконуючи розподіл автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів по підрозділах АРФ населеного пункту, необхідно враховувати умови (4.7) і (4.8), а також показники частоти надходження викликів.

Для виконання перерозподілу встановленої загальної чисельності автомобілів-носіїв між підрозділами АРФ необхідно використати наступну цільову функцію:

$$f(\Phi) = \frac{\sum (\Phi_{ik} - \bar{\Phi})^2}{a - 1} \rightarrow \min, \quad (4.12)$$

$$\Phi = \{\Phi_{ik}\}, \quad (4.13)$$

де Φ_{ik} – числове значення ik -го члена вибірки (відношення фактичної чисельності залучень i -го підрозділу АРФ під час ліквідації ЛНС до умовної чисельності автомобілів-носіїв або знімних кузовів-контейнерів);

$\bar{\Phi}$ – середнє арифметичне значення вибірки;

a – об'єм вибірки.

Порядок перерозподілу технічних засобів по підрозділах АРФ був запропонований в роботах [1, 16].

Виконуючи розрахунки, необхідно врахувати обмеження, що сумарна чисельність автомобілів-носіїв або знімних кузовів-контейнерів не повинна перевищувати їх загальної чисельності, яку було розраховано при виконанні процедури 4. Отримані числові значення при використанні функції (4.12) не будуть цілими числами. Для отримання цілих значень чисельності необхідно враховувати

величину дробової частини чисел, тобто, в першу чергу, необхідно округлювати в більшу сторону ті значення, які мають більшу дробову частину. Проводячи розрахунки на даному етапі, необхідно також враховувати обмеження (4.7) і (4.8).

Загальний порядок перерозподілу знімних кузовів-контейнерів із цільовим призначенням, яке пов'язане з проведенням пожежогасіння, буде таким само, як і для автомобілів-носіїв, але при цьому необхідно врахувати наступне обмеження:

$$N_{\text{АРФ},i}^{\text{кк.п}} \geq N_{\text{АРФ},i}^{\text{а-н}}. \quad (4.14)$$

Для кузовів-контейнерів із цільовим призначенням, відмінним від пожежогасіння, при виконанні умови (4.15) порядок розподілу по підрозділах АРФ населеного пункту буде таким само, як і для автомобілів-носіїв, але за виконання умови (4.16).

$$N_{\text{АРФ},i}^{\text{кк},j} \geq Q_{\text{АРФ}}, \quad (4.15)$$

де $N_{\text{АРФ},i}^{\text{кк},j}$ – чисельність кузовів-контейнерів з j -м цільовим призначенням, відмінним від пожежогасіння.

$$N_{\text{АРФ},i}^{\text{кк},j} \geq N_{\text{АРФ},i}^{\text{а-н}}. \quad (4.16)$$

У випадку виконання нерівності (4.17) при проведенні перерозподілу кузовів-контейнерів з j -м цільовим призначенням, відмінним від пожежогасіння, необхідно використовувати підхід [19], який буде описано далі в роботі.

$$N_{\text{АРФ},i}^{\text{кк},j} < Q_{\text{АРФ}}. \quad (4.17)$$

З метою перерозподілу визначеної чисельності знімних кузовів-контейнерів даного типу по АРФ населеного пункту, враховуючи ймовірно низьку частоту їх використання у порівнянні з кузовами-контейнерами, цільове призначення яких пов'язане із проведенням пожежогасіння, необхідно спершу дослідити можливий рівень стабільності їх залучення до обслуговування викликів окремо за кожним районом обслуговування підрозділу.

Оцінити рівень стабільності залучення знімних кузовів-контейнерів різних видів до обслуговування викликів по районах обслуговування підрозділів АРФ можна розрахувавши показник критерію варіації (ξ) (4.18) за статистичними даними, які відображають щоденну кількість залучень певної чисельності оперативних ТЗ до ліквідації окремих груп ЛНС за певний період часу, наприклад за рік.

$$\xi = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{ip} - q_{cp})^2}{m-1}}}{q_{cp}} \cdot 100\%, \quad (4.18)$$

де q_{ip} – ip -й елемент вибірки;

q_{cp} – середнє арифметичне вибірки;

m – обсяг вибірки.

Подібний підхід використовується у складській логістиці для проведення оцінки рівня попиту на окремі групи товарно-матеріальних ресурсів (XYZ-аналіз) [132]; при цьому допускається можливість отримання числових значень коефіцієнтів варіації, які перевищують 100 %. Чим меншим є розрахований показник варіації, тим стабільнішим є рівень попиту на окремі групи товарно-матеріальних ресурсів.

Для виконання завдання розподілу знімних кузовів-контейнерів по підрозділах необхідно розраховані показники варіації за кожним окремим районом обслуговування АРФ та за окремими групами ЛНС відсортувати у порядку від

найменшого до найбільшого, тобто, по суті, створити «рейтинг». Підрозділи, які матимуть найменші показники коефіцієнта варіації («перші у рейтингу»), необхідно забезпечити спеціалізованими кузовами-контейнерами визначених цільових призначень.

У випадку прийняття певних граничних значень показника варіації та їх варіюванні також можна буде встановлювати перелік підрозділів АРФ, які підлягають оснащенню кузовом-контейнером j -го типу, за умови (4.17). Описаний підхід дозволить отримати залежність часу доставки знімних кузовів-контейнерів j -го типу від граничного значення показника варіації як критерію рівня стабільності залучення автомобілів-носіїв у комплексі з кузовами-контейнерами до місць ліквідації ЛНС в населеному пункті.

Таким чином, розроблена методика проведення чисельного експерименту передбачає виконання п'ятих процедур, а саме: систематизації даних, кластеризації, типізації технічних засобів, ймовірних чисельних оцінок, перерозподілу технічних засобів, що забезпечує перевірку достовірності розробленої математичної моделі.

4.2. Опис лабораторної установки

Розроблена лабораторна установка складається із сукупності апаратно-програмних засобів, які реалізують запропоновану в роботі математичну модель оцінки часу реагування АРФ на ЛНС.

Розробка лабораторної установки проводилася з урахуванням специфіки процесу обслуговування викликів підрозділами АРФ при залученні БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами, який характеризує схема, наведена на рис. 4.3. Подану схему процесу було запропоновано в роботі [17]. Структурні елементи даної схеми пов'язані між собою послідовними і ієрархічними зв'язками; крім цього, між ними також проходять певні потоки: матеріальні, інформаційні та фінансові.

Елементами матеріальних потоків є оперативні ТЗ, а також спеціальні засоби й оснащення, які при переміщенні їх від підрозділів АРФ до місць ліквідації ЛНС утворюють відповідний потік.

Складовими інформаційного потоку є повідомлення, що містять оперативну інформацію та накази. Обмін повідомленнями відбувається між заявником і оперативно-диспетчерською службою оперативно-координаційного центру, між диспетчерською службою окремого підрозділу АРФ та оперативно-диспетчерською службою оперативно-координаційного центру, між диспетчерськими службами підрозділів АРФ, між керівником проведення оперативних робіт та оперативно-диспетчерською службою оперативно-координаційного центру, між керівником проведення оперативних робіт та диспетчерською службою підрозділу АРФ. Особливістю інформаційного потоку є те, що він характеризується як прямим, так і зворотним зв'язком.

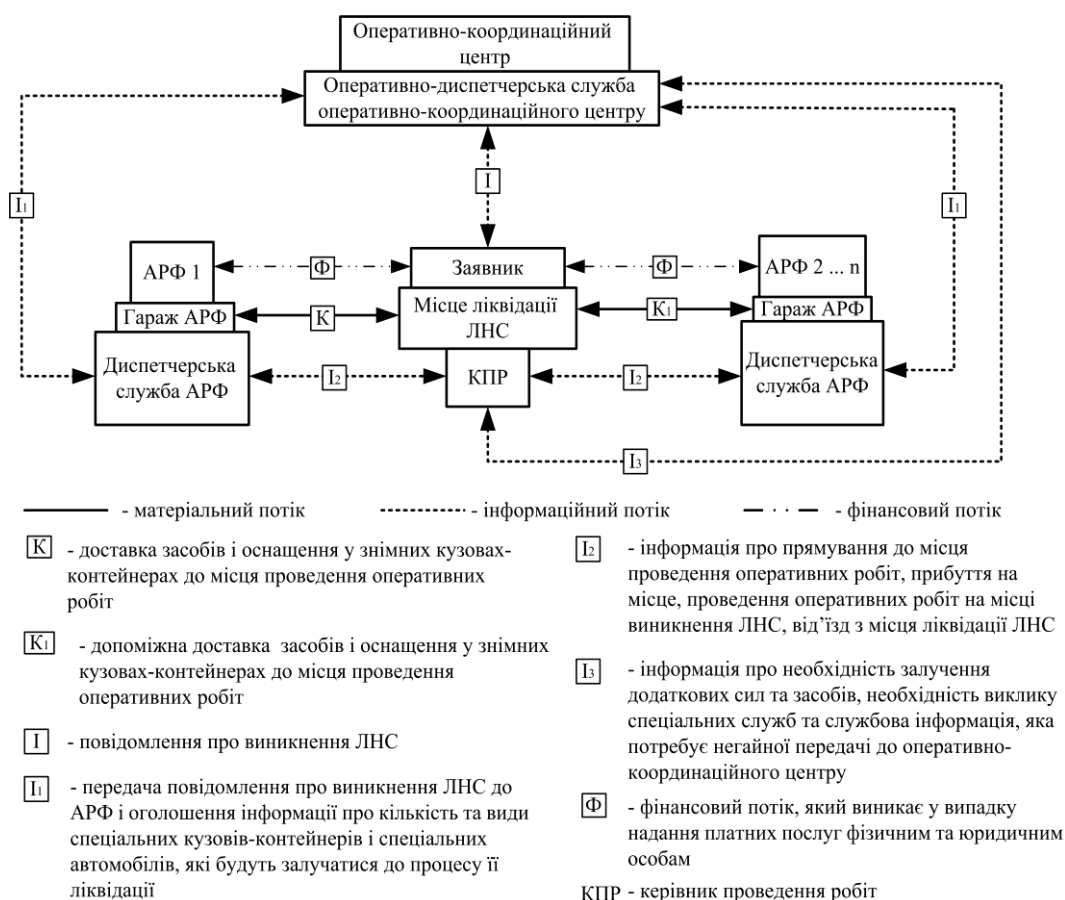


Рисунок 4.3 – Схема процесу обслуговування викликів підрозділами АРФ

Суть фінансового потоку полягає в тому, що підрозділи АРФ, відповідно до положень чинного законодавства, мають право надавати певний перелік платних послуг фізичним та юридичним особам на договірних засадах, що супроводжується надходженням до них певних матеріальних ресурсів.

На рис. 4.4 наведено функціональну схему, яка характеризує структуру розробленої лабораторної установки та загальний алгоритм проведення чисельного експерименту [9].

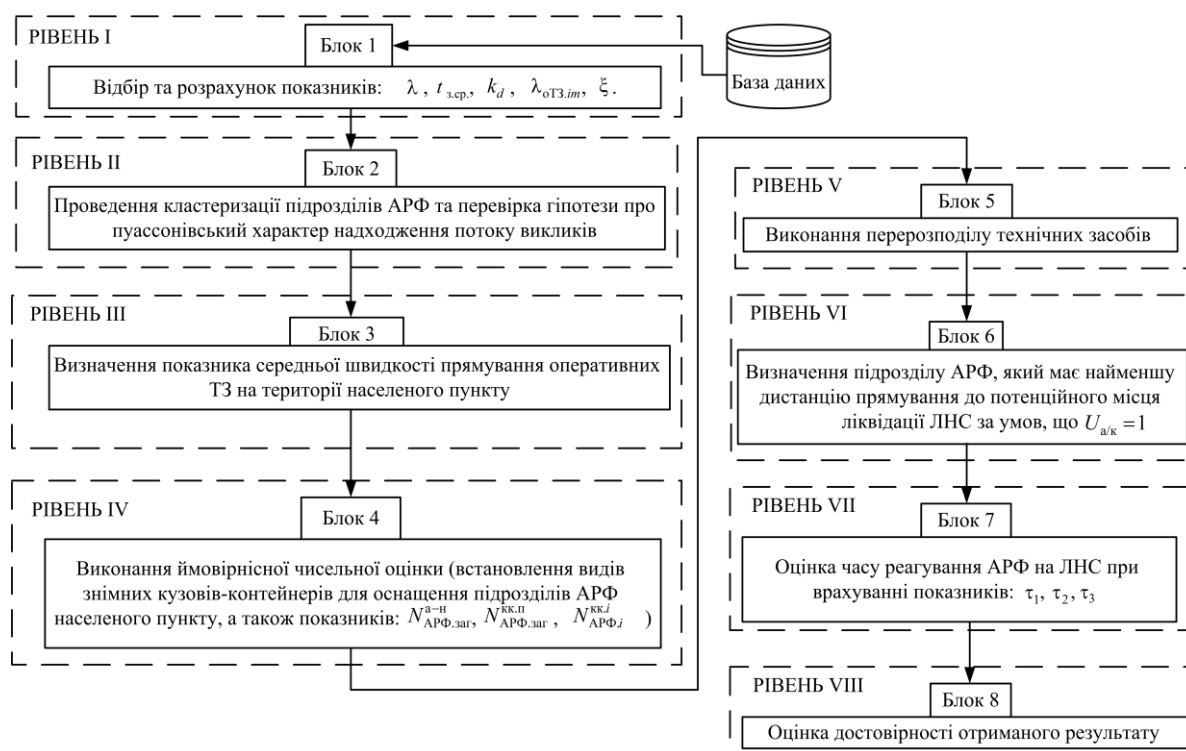


Рисунок 4.4 – Функціональна схема лабораторної установки

Таким чином, розроблено функціональну схему лабораторної установки та комплекс апаратно-програмних засобів, які реалізують запропоновану математичну модель оцінки часу реагування на ЛНС АРФ, при використанні ними багатофункціональних кузовів-контейнерів, та дозволяють перевірити її адекватність. Функціональна схема розробленої лабораторної установки складається з восьми блоків, що розміщені на восьми рівнях, пов'язаних послідовними та ієрархічними зв'язками.

4.3. Аналіз комплексного чисельного експерименту

З метою проведення аналізу комплексного чисельного експерименту, спершу визначимо види і чисельність знімних кузовів-контейнерів та автомобілів-носіїв для оснащення АРФ. Потім проведемо процедуру мінімізації часу реагування АРФ на ЛНС, після чого виконаємо оцінку ефекту від реалізації процедури мінімізації часу реагування АРФ на ЛНС.

4.3.1. Визначення видів і чисельності знімних кузовів-контейнерів та автомобілів-носіїв для оснащення аварійно-рятувальних формувань

На території м. Харкова нараховується 22 ДПРЧ (враховуючи дві об'єктові ДПРЧ, які займаються обслуговуванням ПАТ «Турбоатом», ДП «ХЕМЗ», ВАТ «ТЕЦ-3», ВАТ «ЗЗБК-5» та ПАТ «ХТЗ») та АРЗ СП. Вся територія м. Харкова поділена на райони обслуговування ДПРЧ. Підрозділ АРЗ СП виїздить на обслуговування викликів по м. Харкову та області. В ДПРЧ і АРЗ СП м. Харкова зосереджено 211 одиниць техніки (з них 101 – в АРЗ СП). Підрозділи ДПРЧ виїзять на ліквідацію майже всіх груп ЛНС, які виникають у м. Харкові, крім викликів, що пов'язані з проведенням знешкодження військових боєприпасів, пошуково-рятувальних водозахисних робіт та на інші специфічні і складні види робіт. Відповідно на специфічні і складні виклики та до виконання робіт, пов'язаних зі знешкодженням боєприпасів, в м. Харкові залучаються підрозділи АРЗ СП, в якому зосереджено достатньо багато видів спеціальних ТЗ та інженерної техніки, а також кваліфікований особовий склад, який може виконувати достатньо вузькоспеціалізовані та складні завдання.

На рис. 4.5 наведено середні значення часу прямування особового складу АРФ до місця виклику. Для підрозділів ДПРЧ середній час прямування за період 2016 року складав 9 хвилин, а для АРЗ СП – 29 хвилин. Більший показник середнього часу прямування особового складу підрозділу АРЗ СП, у порівнянні з аналогічним

показником у ДПРЧ, можна пояснити значним територіальним віддаленням першого у порівнянні з більшістю місць викликів на території міста. Показник варіації середнього часу прямування особового складу підрозділів ДПРЧ до місця виклику за оцінюваний період (2014–2016 рр.) складав 3,3 %, а для особового складу підрозділу АРЗ СП – 11,32 %.

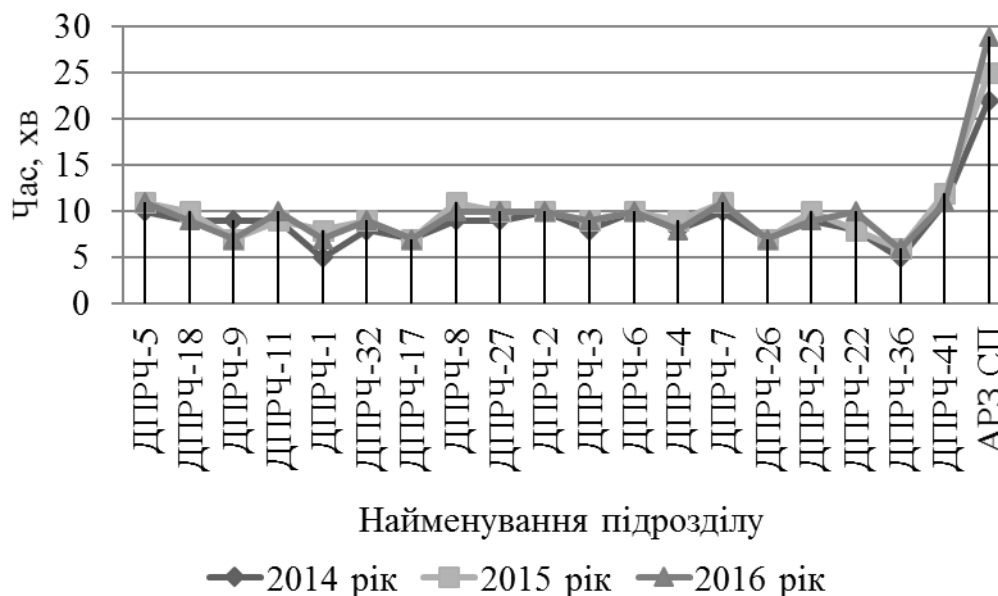


Рисунок 4.5 – Середній час прямування підрозділів АРФ м. Харкова за період 2014–2016 рр.

Дослідження характеристик потоку викликів, який надходить до підрозділів АРФ, та статистичних закономірностей, які дозволяють його описати, були виконані у роботах [2, 5, 6, 13].

Структура викликів підрозділів ДПРЧ м. Харкова за період 2014–2016 рр. наведена в таблиці 4.1.

Ступінь близькості структури викликів ДПРЧ за роками за період 2014–2016 рр. можна оцінити шляхом проведення кореляційного аналізу. В таблиці 4.2 відображені результати розрахунку коефіцієнтів кореляції.

Проаналізувавши структуру викликів підрозділів ДПРЧ за період 2014–2016 рр. (таблиця 4.1), можна зробити висновок про те, що найбільш частим

видом ЛНС є пожежі. Провівши аналіз числових значення коефіцієнтів кореляції (таблиця 4.2), можна дійти висновку, що впродовж останніх трьох років спостерігається стабільна структура викликів підрозділів ДПРЧ.

Таблиця 4.1 – Причини виїздів ДПРЧ м. Харкова за період 2014–2016 рр.

Причини викликів ДПРЧ	Аналізований період		
	2014 рік, %	2015 рік, %	2016 рік, %
ліквідація наслідків пожеж та вибухів	78	75,13	66,76
проведення АРР під час ДТП	0,63	0,94	1,62
допомога населенню	11,57	15,7	23,07
чергування	5,51	4,58	5,99
проведення демеркуризації	3,96	2,41	1,85
інші	0,04	1,24	0,72

Таблиця 4.2 – Матриця парних кореляцій (причини викликів підрозділів ДПРЧ за період 2014–2016 рр.)

Змінна	Причини викликів (2014 рік)	Причини викликів (2015 рік)	Причини викликів (2016 рік)
Причини викликів (2014 рік)	1	1	0,98
Причини викликів (2015 рік)	1	1	0,99
Причини викликів (2016 рік)	0,98	0,99	1

Структура причин викликів підрозділів АРЗ СП за період 2014–2016 рр. наведена в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Причини виїздів АРЗ СП м. Харкова за період 2014–2016 рр.

Причини викликів АРЗ СП	2014 рік, %	2015 рік, %	2016 рік, %
знешкодження боєприпасів	27,59	57,21	46,11
проведення демеркуризації, дегазації та аналізу вмісту повітря на наявність НХР	47,41	26,87	35,56
проведення пошуково-рятувальних робіт на воді	7,76	3,48	2,22
ліквідація наслідків пожеж та вибухів	3,45	5,47	2,22
чергування	13,79	5,97	11,67
інші	0	1	2,22

Проаналізувавши статистичні дані, наведені в таблиці 4.3, можна дійти висновку, що найбільш частими причинами викликів підрозділів АРЗ СП є: знешкодження боєприпасів; проведення демеркуризації, дегазації, відбору проб повітря; чергування (під час проведення різноманітних культурно-масових заходів, при перевірці поліцією підозрілих предметів на предмет виявлення вибухових речовин та ін.).

Відносно кількості викликів ДПРЧ та АРЗ СП по м. Харкову, то у 2014 році їх було 5403, у 2015 році – 6288, а у 2016 році – 5544. Більшу кількість викликів у 2015 році, порівняно з 2014 та 2016 роками, можна пояснити зростанням кількості пожеж у вересні та жовтні 2015 року, що пов'язано із кліматичними умовами.

З метою перевірки статистичної гіпотези про те, що потоки викликів, які надходять до АРФ, можна описати законом розподілу Пуассона, було використано

програмний продукт STATISTICA 6.0. Як критерій узгодженості було обрано критерій Пірсона.

Кількість ступенів свободи (s) визначається за наступною формулою [134]:

$$s = k - d - 1, \quad (4.19)$$

де k – кількість груп вибірки;

d – кількість параметрів передбачуваного розподілу.

У випадку, якщо розрахункові значення критерію узгодженості Пірсона є меншими за його критичне значення, яке визначається за допомогою спеціальних таблиць, наведених в [134], за рівня значущості – 0,05, можна стверджувати, що висунута статистична гіпотеза є підтвердженою.

Для того щоб не виконувати перевірку статистичної гіпотези для всіх підрозділів АРФ м. Харкова, що пов'язано з великою трудомісткістю збору необхідних статистичних даних, було проведено групування підрозділів за показником частоти викликів. При цьому для кожного підрозділу було визначено по чотири показники частоти викликів:

а) частота загального потоку викликів;

б) частота викликів на ліквідацію ЛНС, які характеризуються виникненням пожеж та негативних чинників, що з ними пов'язані (1-ша група ЛНС);

в) частота викликів на ліквідацію ЛНС, оперативні роботи особового складу АРФ на яких пов'язані з проведенням ліквідації наслідків витоку та/або викиду різноманітних НХР або радіоактивних речовин (2-га група ЛНС);

г) частота викликів, які пов'язані з наданням допомоги населенню (витягування людей з ям та погребів, відкривання дверей будинків та квартир, допомога населенню та працівникам швидкої медичної допомоги у перенесенні хворих та ін.) (3-тя група ЛНС).

Вихідні значення для проведення групування АРФ за частотою викликів, які до них надходять наведені, в таблиці 4.4.

Групування проводилося шляхом проведення кластерного аналізу.

Таблиця 4.4 – Розрахункові значення параметра частоти викликів, які надходили до підрозділів АРФ за період 2016 року

Найменування підрозділу	Частота викликів ТЗ із АРФ, виклик/годину (загальний потік викликів)	Частота викликів ТЗ із АРФ, виклик/годину (1-ша група ЛНС)	Частота викликів ТЗ із АРФ, виклик/годину (2-га група ЛНС)	Частота викликів ТЗ із АРФ, виклик/годину (3-тя група ЛНС)
1	2	3	4	5
ДПРЧ-1	0,048952641	0,034722	0,000342	0,008424
ДПРЧ-2	0,059084699	0,037682	0,000911	0,015824
ДПРЧ-3	0,040642077	0,027892	0,000911	0,006944
ДПРЧ-4	0,033469945	0,027664	0,000569	0,003415
ДПРЧ-5	0,059653916	0,051116	0,000342	0,005578
ДПРЧ-6	0,036999089	0,025615	0,000569	0,010132
ДПРЧ-7	0,015596539	0,007855	0,000114	0,006489
ДПРЧ-8	0,050318761	0,033584	0,001821	0,012409
ДПРЧ-9	0,066939891	0,045423	0,001366	0,005806
ДПРЧ-11	0,051571038	0,036771	0	0,012523
ДПРЧ-17	0,04075592	0,028005	0,000683	0,004554
ДПРЧ-18	0,078551913	0,057377	0,001935	0,01423
ДПРЧ-22	0,032217668	0,024818	0,000228	0,005692
ДПРЧ-25	0,024134791	0,018215	0	0,004212
ДПРЧ-26	0,010245902	0,0074	0	0,00148
ДПРЧ-27	0,029713115	0,022769	0,000114	0,00444
ДПРЧ-32	0,034494536	0,023793	0,000797	0,007286
ДПРЧ-36	0,005806011	0,002505	0	0,000911
ДПРЧ-41	0,02140255	0,016166	0,000114	0,003415

Для проведення категорювання підрозділів АРФ за частотою викликів на першому етапі було проведено ієрархічний кластерний аналіз. Як міру відстані для ознак кластеризації було взято евклідову метрику. При розрахунку відстаней між точками, які відображають положення об'єктів у просторі їх характеристик, змінна, яка має велике значення, буде практично повністю домінувати над змінною з малими значеннями. Таким чином, через неоднорідність одиниць вимірювання характеристик стає неможливим коректно розрахувати відстані між точками. Цю проблему було вирішено шляхом попередньої стандартизації змінних. Стандартизація, або нормування, ставить у відповідність значення всіх змінних до єдиного діапазону значень шляхом відношення цих величин до деякого параметра, який відображає певні властивості конкретної ознаки. Порядок стандартизації даних полягав у нормуванні змінних до одиничної дисперсії й нульового середнього:

$$X_{iz}^* = \frac{X_{iz} - M[X_{iz}]}{\sigma_{X_{iz}}}, \quad (4.20)$$

$$X_{nz}^* = \frac{X_{nz} - M[X_{nz}]}{\sigma_{X_{nz}}}, \quad (4.21)$$

де X_{iz}^* , X_{nz}^* – стандартизовані значення z -х змінних для iz -го та nz -го об'єктів;

$M[X_{iz}]$, $M[X_{nz}]$ – математичні очікування, які характерні для змінних iz -го та nz -го об'єктів;

$\sigma_{X_{iz}}$, $\sigma_{X_{nz}}$ – стандартні відхилення, характерні для змінних iz -го та nz -го об'єктів.

Стандартизовані значення для проведення групування підрозділів АРФ за частотою викликів, які до них надходять наведені, в таблиці 4.5.

Для побудови ієрархічної структури був використаний метод Варда, в якому оцінки відстаней між групами визначаються методом дисперсійного аналізу [135].

Процес покрокового агломеративного об'єднання змінних у кластери наведений на рис. 4.6.

Таблиця 4.5 – Стандартизовані значення для проведення групування підрозділів АРФ за частотою викликів, які до них надходять

Найменування підрозділу	Частота викликів ТЗ із АРФ, виклик/годину (загальний потік викликів)	Частота викликів ТЗ із АРФ, виклик/годину (1-ша група ЛНС)	Частота викликів ТЗ із АРФ, виклик/годину (2-га група ЛНС)	Частота викликів ТЗ із АРФ, виклик/годину (3-тя група ЛНС)
1	2	3	4	5
ДПРЧ-1	0,5147884	0,476917	-0,3781005	0,327801
ДПРЧ-2	1,037616	0,682691	0,5685518	2,08076
ДПРЧ-3	0,0859527	0,002108	0,5685518	-0,022791
ДПРЧ-4	-0,2841385	-0,01374	-0,0004378	-0,858764
ДПРЧ-5	1,066988	1,616599	-0,3781005	-0,346378
ДПРЧ-6	-0,10203	-0,1561856	-0,0004378	0,732404
ДПРЧ-7	-1,206429	-1,39083	-0,757427	-0,130575
ДПРЧ-8	0,5852819	0,3978054	2,08253	1,271795
ДПРЧ-9	1,442954	1,220832	1,32554	-0,292368
ДПРЧ-11	0,649901	0,61936	-0,94709	1,2988
ДПРЧ-17	0,091827	0,009963	0,189225	-0,58895
ДПРЧ-18	2,042149	2,05185	2,27219	1,70317
ДПРЧ-22	-0,3487576	-0,2115916	-0,567764	-0,319373
ДПРЧ-25	-0,7658444	-0,670621	-0,94709	-0,669966
ДПРЧ-26	-1,482529	-1,422461	-0,94709	-1,31714
ДПРЧ-27	-0,4779957	-0,3540345	-0,757427	-0,615955
ДПРЧ-32	-0,231268	-0,282848	0,378889	0,058224
ДПРЧ-36	-1,711633	-1,76275	-0,94709	-1,45193
ДПРЧ-41	-0,9068315	-0,8130635	-0,757427	-0,858764

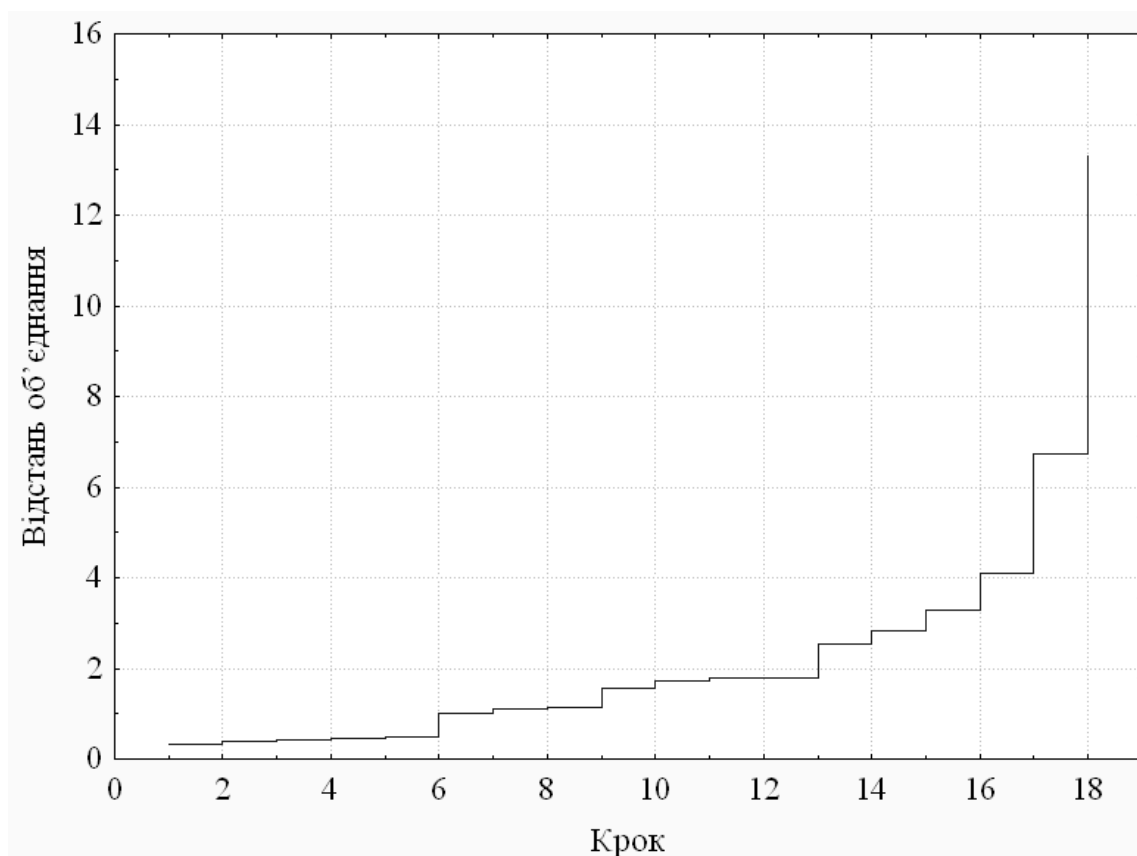


Рисунок 4.6 – Процес покрокового об'єднання змінних при проведенні ієрархічного кластерного аналізу

В результаті проведення ієрархічного кластерного аналізу було побудовано вертикальну дендрограму (рис. 4.7), за допомогою якої було виділено окремі групи підрозділів АРФ.

Для перевірки точності отриманих у результаті ієрархічного кластерного аналізу результатів було використано ітеративний метод групування k -середніх. На відміну від ієрархічних агломеративних методів, які вимагають розрахунку і зберігання матриці схожості між об'єктами розмірністю $n \times n$, ітеративні методи працюють безпосередньо з первинними даними, а тому з їх допомогою можна обробляти доволі значні обсяги даних [135]. Більше того, ітеративні методи виконують декілька переглядів даних і можуть компенсувати наслідки поганого початкового розбиття даних, тим самим усуваючи головний недолік ієрархічних агломеративних методів [135].

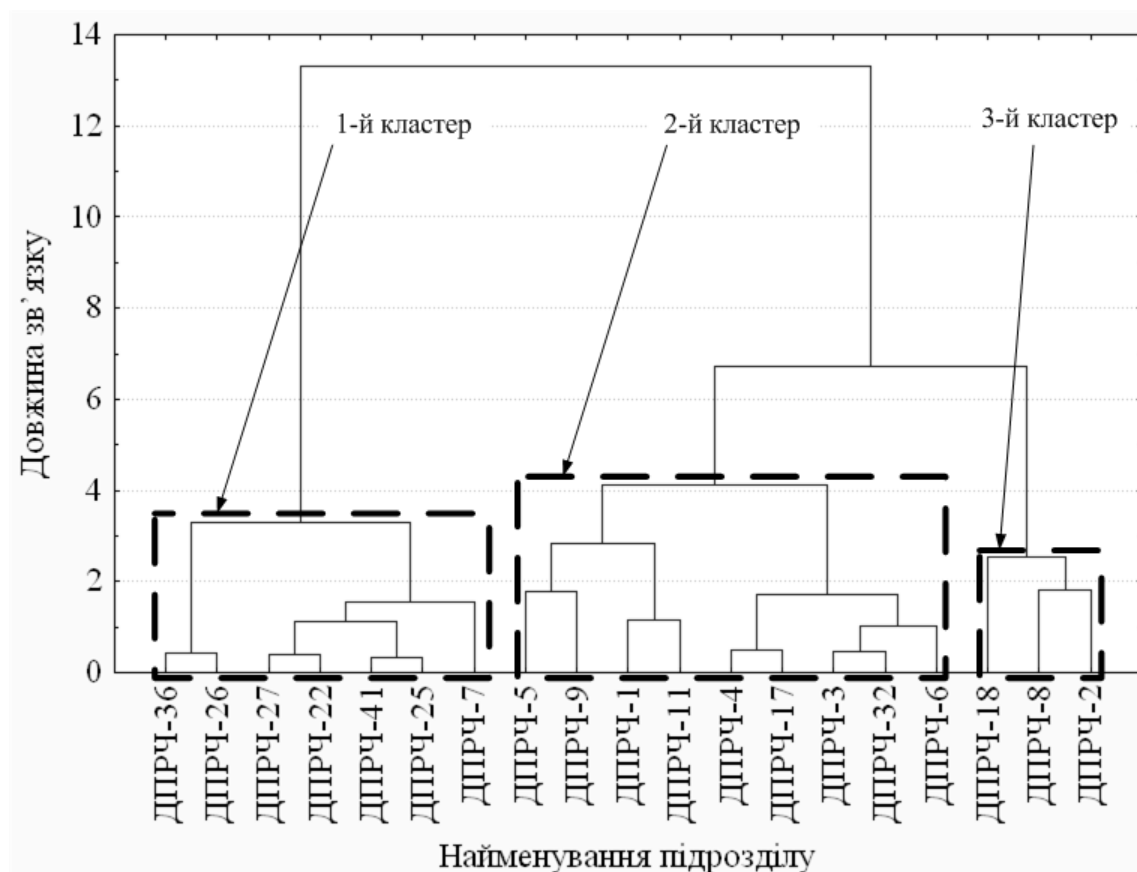


Рисунок 4.7 – Результати кластеризації (групування) АРФ за частотою викликів

Мірою відстані для ознак кластеризації в ітеративному методі групування k -середніх є евклідова метрика. Число кластерів було визначене за дендрограмою (рис. 4.7), на якій обрано їх кількість за принципом наочності кластеризації. Результати групування підрозділів за частотою викликів при проведенні кластеризації методом k -середніх наведені в таблиці 4.6.

Різниця між визначеними кластерами за критерієм евклідової відстані відображена в таблиці 4.7.

З кожної з отриманих груп АРФ (таблиця 4.6) було взято по одному підрозділу на вибір. До обраних підрозділів було віднесено: ДПРЧ-3, ДПРЧ-8 та ДПРЧ-27.

На рис. 4.8–4.10 відображені діаграми розподілу емпіричного і теоретичного потоку викликів, які надходили до підрозділів АРФ м. Харкова, а також розрахункові значення критерію узгодженості Пірсона та число ступенів свободи.

Таблиця 4.6 – Результати проведення кластерного аналізу ітераційним методом k -середніх

Номер кластеру	Найменування підрозділу	Загальна кількість викликів, яка надходила до підрозділів за період 2016 року	Відстань до центру кластера
1	2	3	4
1	ДПРЧ-6	325	0,42563
	ДПРЧ-32	303	0,409603
	ДПРЧ-22	283	0,439098
	ДПРЧ-17	358	0,366306
	ДПРЧ-4	294	0,515838
	ДПРЧ-11	453	0,817433
	ДПРЧ-1	430	0,290925
	ДПРЧ-5	524	0,859301
	ДПРЧ-3	357	0,368277
2	ДПРЧ-27	261	0,486693
	ДПРЧ-25	212	0,275283
	ДПРЧ-41	188	0,165109
	ДПРЧ-7	137	0,39687
	ДПРЧ-26	90	0,358308
	ДПРЧ-36	51	0,558572
3	ДПРЧ-8	442	0,5551
	ДПРЧ-2	519	0,707306
	ДПРЧ-9	588	0,758455
	ДПРЧ-18	690	0,755059

Таблиця 4.7 – Евклідова відстань між кластерами

Номер кластеру	1	2	3
1	0	1,135053	1,545143
2	1,065389	0	5,055549
3	1,243038	2,248455	0

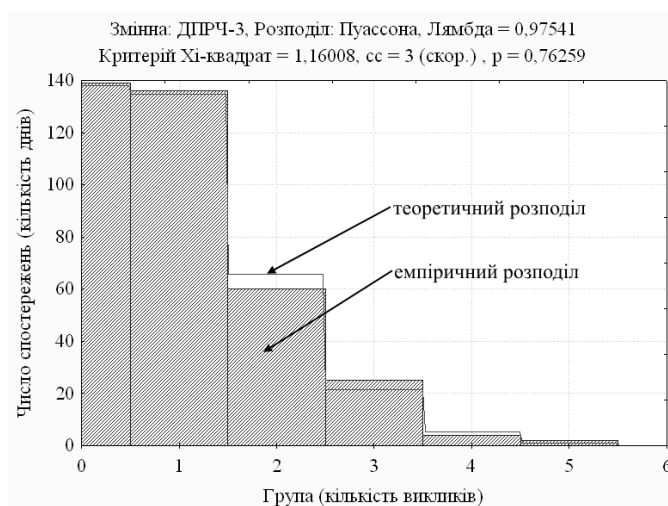


Рисунок 4.8 – Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу кількості викликів, які надходили до ДПРЧ-3

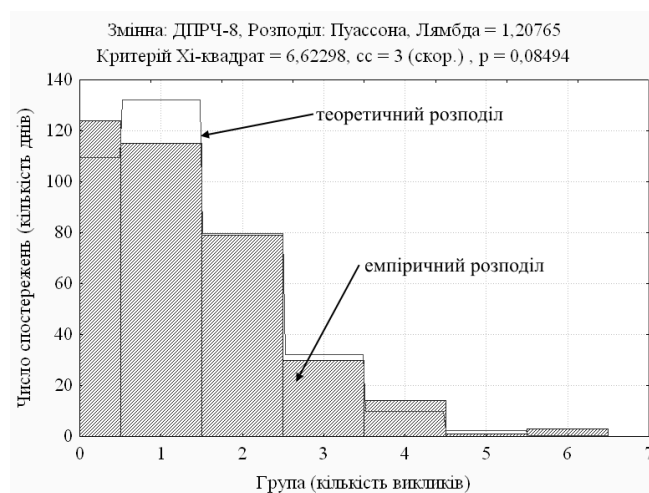


Рисунок 4.9 – Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу кількості викликів, які надходили до ДПРЧ-8

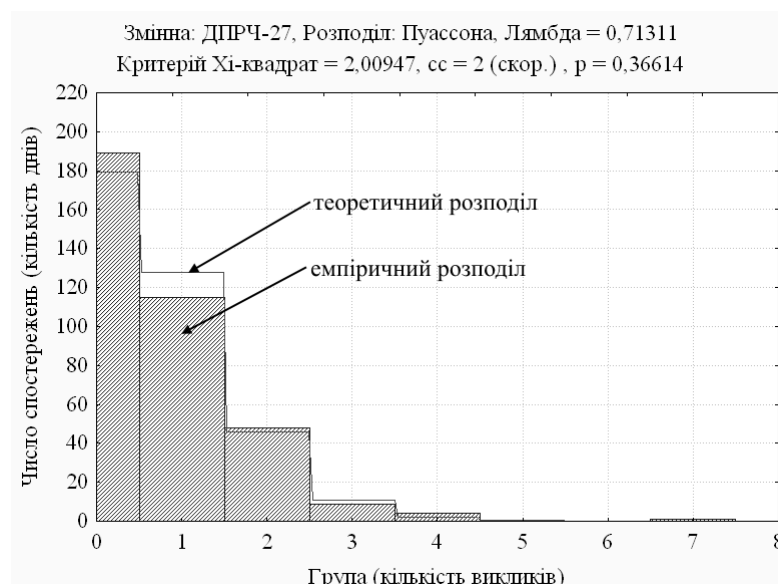


Рисунок 4.10 – Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу кількості викликів, які надходили до ДПРЧ-27

Розрахункові та критичні значення критерію узгодженості Пірсона при проведенні перевірки гіпотези про те, що потік викликів, які надходять до підрозділів АРФ м. Харкова, можна описати законом розподілу Пуассона, відображені в таблиці 4.8. Проаналізувавши дані, наведені в таблиці 4.8, можна зробити висновок про те, що потік викликів, які надходять до підрозділів АРФ м. Харкова, можна описати законом розподілу Пуассона.

Таблиця 4.8 – Значення критерію узгодженості Пірсона (перевірка можливості опису потоку викликів, які надходять до АРФ, законом розподілу Пуассона)

Відношення до кластеру	Найменування підрозділу	Розрахункове значення критерію Пірсона	Критичне значення критерію Пірсона
1	ДПРЧ-3	1,16008	7,815
2	ДПРЧ-8	6,62298	7,815
3	ДПРЧ-27	2,00947	5,991

У зв'язку з тим, що загальний потік викликів підкоряється закону розподілу Пуассона, то при подальшому поділі даного потоку, наприклад, на потік викликів, які пов'язані з ДТП, або з проведенням демеркуризації, або з наданням допомоги населенню та інші, названі потоки також будуть пуассонівськими [123].

Для перевірки статистичної гіпотези про можливість опису часових інтервалів між надходженнями викликів експоненційним законом розподілу, враховуючи значний масив оброблюваних статистичних даних, було виконано вибірку із 51-го значення цього показника, що пов'язано з умовами використання критерію узгодженості Пірсона, для обраних підрозділів за 1-й квартал їх функціонування у 2016 році.

На рис. 4.11–4.13 наведені діаграми розподілу емпіричного і теоретичного часового інтервалу між надходженням викликів до ДПРЧ-3, ДПРЧ-8 та ДПРЧ-27 м. Харкова, а також розрахункові значення критерію узгодженості Пірсона та число ступенів свободи.

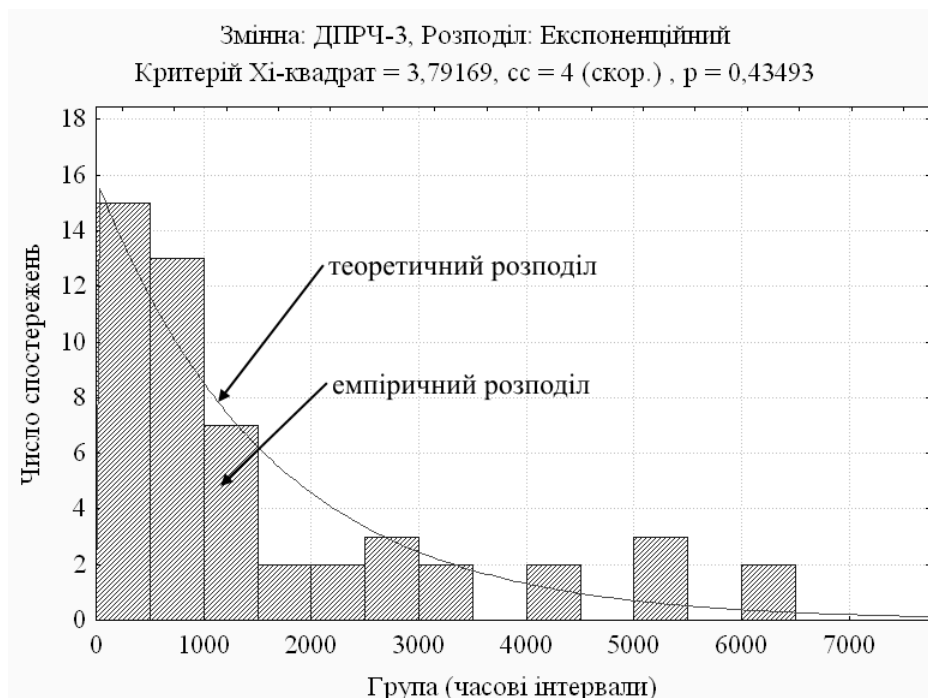


Рисунок 4.11 – Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу інтервалів часу між надходженням викликів до ДПРЧ-3

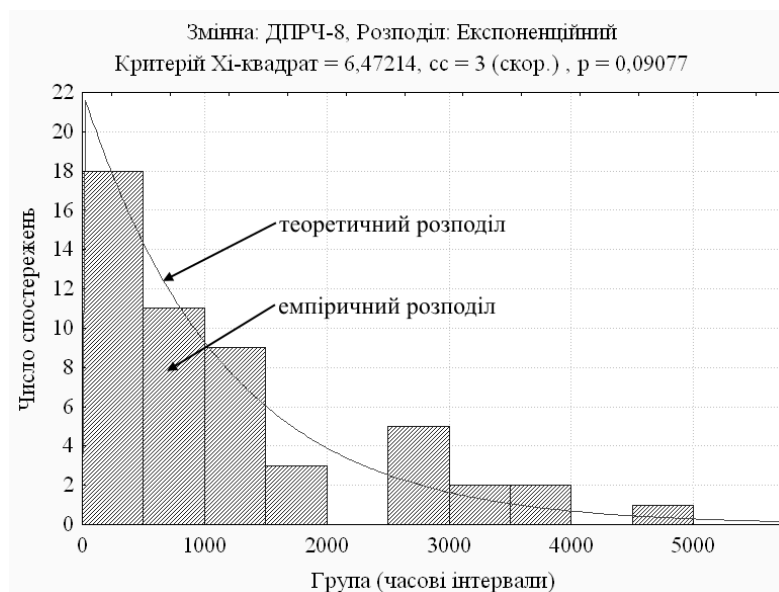


Рисунок 4.12 - Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу інтервалів часу між надходженням викликів до ДПРЧ-8

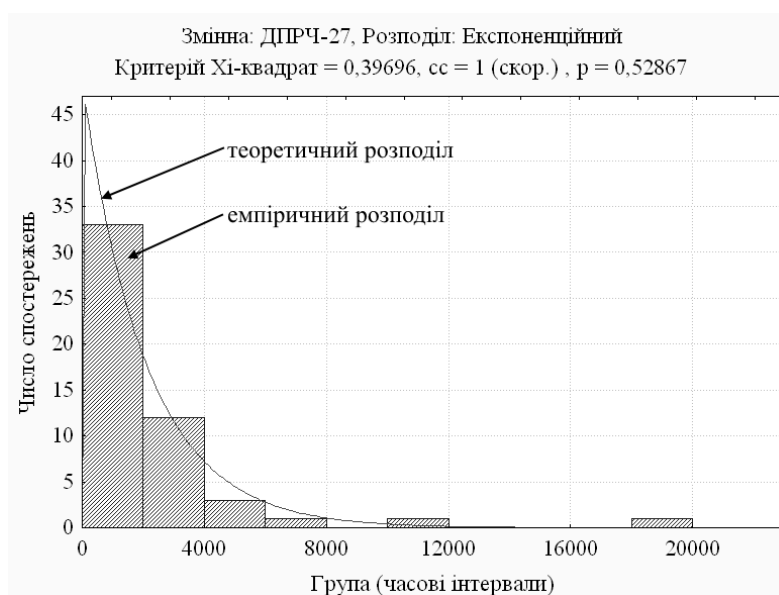


Рисунок 4.13 - Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу інтервалів часу між надходженням викликів до ДПРЧ-27

В таблиці 4.9 наведено розрахункові та критичні значення критерію узгодженості Пірсона, проаналізувавши які можна зробити висновок про підтвердження висунутої гіпотези.

Таблиця 4.9 – Значення критерію узгодженості Пірсона (перевірка можливості опису часових інтервалів між надходженням викликів до АРФ експоненційним законом розподілу)

Відношення до кластеру	Найменування підрозділу	Розрахункове значення критерію Пірсона	Критичне значення критерію Пірсона
1	ДПРЧ-3	3,79169	9,488
2	ДПРЧ-8	6,47214	7,815
3	ДПРЧ-27	0,39696	3,841

Для встановлення необхідних видів спеціалізованих кузовів-контейнерів окремо для кожного підрозділу АРФ необхідно спершу визначити рівень потреби в них. Звичайно в підрозділах, в райони виїзду яких постійно залучаються певні види оперативних ТЗ, необхідність їх оснащення спеціалізованими кузовами-контейнерами з переліком цих цільових призначень не викликає сумнівів. Для визначення рівня стабільності потреби у певних видах кузовів-контейнерів необхідно розрахувати показник коефіцієнта варіації за статистичними даними, які відображають щоденну кількість залучень оперативних ТЗ у райони обслуговування підрозділів АРФ окремо на кожну групу ЛНС. Розрахунки були проведені на основі опрацьованих статистичних даних, які відображали процес обслуговування викликів підрозділів АРФ за період 2016 року. Результати цього розрахунку наведені в таблиці 4.10.

Проаналізувавши розраховані коефіцієнти варіації, можна стверджувати, що найбільші його показники спостерігаються у підрозділах АРФ, які мають невисоку, порівняно з іншими, частоту виїздів. Підтвердженням цього є проведений кореляційний аналіз, за результатами якого було перевірено залежність між частотою виїздів АРФ на виклики окремо за трьома групами НС (таблиця 4.4) з розрахованими коефіцієнтами варіації (таблиця 4.10), і, як результат, було отримано наступні величини коефіцієнтів кореляції – (- 0,77), (- 0,83) та (- 0,82).

Таблиця 4.10 – Розраховані коефіцієнти варіації, які відображають стабільність залучень оперативних ТЗ у райони обслуговування підрозділів АРФ на ліквідацію трьох груп ЛНС

Підрозділ	Групи ЛНС		
	1, %	2, %	3, %
1	2	3	4
ДПРЧ-1	113,1	1101,5	249,7
ДПРЧ-2	112,3	669	168,7
ДПРЧ-3	122,7	669	248,6
ДПРЧ-4	122,9	849,7	346,6
ДПРЧ-5	105,8	1100	432
ДПРЧ-6	135,7	1007,4	281,4
ДПРЧ-7	244,9	1910,5	345,8
ДПРЧ-8	124,3	469	207,8
ДПРЧ-9	96,6	588,1	280,4
ДПРЧ-11	120,5	0	186,7
ДПРЧ-17	117,6	774,6	293,4
ДПРЧ-18	91,1	453,1	174,7
ДПРЧ-22	124,8	1349,1	299,3
ДПРЧ-25	156,8	0	340,5
ДПРЧ-26	234,5	0	521,8
ДПРЧ-27	137,5	1910,5	430
ДПРЧ-32	136,3	716,1	236,9
ДПРЧ-36	414,1	0	669,9
ДПРЧ-41	167,7	1910,5	380,2

Отримані значення коефіцієнта кореляції свідчать про те, що кореляційна залежність є сильною від'ємною, тобто за збільшення частоти виїздів підрозділів пропорційно зменшується коефіцієнт варіації.

Середній час зайнятості на викликах підрозділів АРФ за період 2014–2016 рр. наведено в таблиці 4.11. Вказаний час являє собою часовий період, який фіксувався від моменту виїзду оперативних ТЗ на виклик до моменту повернення їх назад до місця дислокації підрозділу.

Таблиця 4.11 – Середній час зайнятості на викликах підрозділів АРФ

Рік	Середній час зайнятості на викликах, год (хв)			
	загальний потік викликів	1-ша група ЛНС	2-га група ЛНС	3-тя група ЛНС
2014	0,87 (53)	0,89 (54)	0,9 (55)	0,54 (32)
2015	1,08 (65)	1 (60)	0,9 (55)	0,98 (59)
2016	0,89 (54)	0,89 (54)	1,18 (71)	0,86 (52)
Середні значення	0,95 (58)	0,93 (56)	1 (60)	0,79 (48)

Наведені в таблиці 4.11 показники необхідні для проведення ймовірнісної оцінки часу зайнятості певної чисельності автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів на обслуговуванні викликів у м. Харкові.

При проведенні аналізу процесу функціонування підрозділів АРФ м. Харкова за період 2014–2016 рр. було визначено інтенсивність виїздів кожного окремого виду оперативних ТЗ на обслуговування викликів. За цими даними було визначено, який відсоток становлять виїзди кожного окремого виду оперативних ТЗ від загальної кількості виїздів. В результаті цього було отримано числове значення критерію необхідного для проведення АВС-аналізу (таблиця 4.12).

З даних, наведених у таблиці 4.12, можна зробити висновок про те, що найбільшу частоту виїздів на виклики мають пожежні автоцистерни, автодрабини, автомобілі першої допомоги та аварійно-рятувальні автомобілі. Спеціалізованих знімних кузовів-контейнерів, які могли б повноцінно замінити автодрабини або автопідйомники, на сьогодні поки що розроблено не було, проте решту видів спеціальних автомобілів можна замінити окремими типами кузовів-контейнерів у комплексі з автомобілями-носіями.

Таблиця 4.12 – Результати проведення АВС-аналізу

Тип ТЗ	Відсоток від загальної кількості виїздів	Накопичувальний підсумок	Група
1	2	3	4
Пожежні автоцистерни (АЦ)	73,67	73,67	A
Автомобілі першої допомоги (АПД)	12,11	85,78	A
Автодрабини (АД)	9,53	95,31	A
Аварійно-рятувальні автомобілі (АРА)	1,63	96,94	A
Оперативно-піротехнічна машина (ОПМ)	1,11	98,05	B
Спеціальна машина радіаційного та хімічного захисту (СМРХЗ)	0,68	98,73	B
Автомобіль газодимозахисту(АГДЗС)	0,27	99	B
Автопідйомники (АКП)	0,27	99,27	B

Продовження таблиці 4.12

1	2	3	4
Спеціальна машина радіаційного та хімічного захисту - лабораторного контролю (СМРХЗ-ЛК)	0,22	99,49	С
Оперативно-піротехнічна водолазна машина (ОПМ-В)	0,12	99,61	С
Кузов уніфікований нульового (нормального) габариту (КУНГ)	0,08	99,69	С
Автомобіль рукавний (АР)	0,07	99,76	С
Медичні автомобілі (МА)	0,06	99,82	С
Автомобіль штабний (АШ)	0,05	99,87	С
Пожежна насосна станція (ПНС)	0,05	99,92	С
Автомобіль повітряно-пінного гасіння (АППГ)	0,03	99,95	С
Вантажні автомобілі (ВА)	0,03	99,98	С
Авторозливна станція (АРС)	0,02	100	С

Користуючись методикою, наведеною в роботі [132], графічним методом шляхом побудови графіка кумулятивної кривої були визначені межі класифікаційних груп АВС (рис. 4.14). Початок відліку на осі ординат навмисне було виконано з 70 % для більшої наочності. Проаналізувавши види оперативних ТЗ, які були поділені на групи за частотою залучення на обслуговування викликів (таблиці 4.12), можна провести поділ їх на групи залежно від цільових призначень:

- пожежогасіння та димовидалення (автоцистерни, автомобілі першої допомоги, автомобілі газодимозахисту);

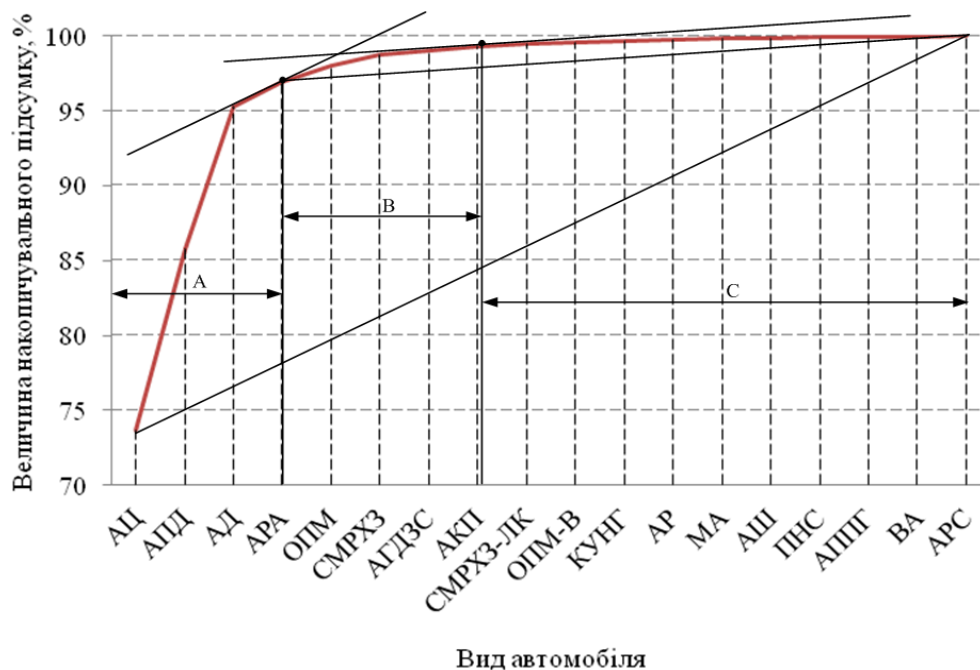


Рисунок 4.14 – Визначення меж класифікаційних груп ABC на основі побудованої кумулятивної кривої

- проведення АРР та надання допомоги населенню (автоцистерни, автомобілі першої допомоги, аварійно-рятувальні автомобілі);
- проведення демеркуризації, дегазації, ліквідація наслідків розливів та/або викидів НХР (автоцистерни, автомобілі першої допомоги, спеціальні машини радіаційного та хімічного захисту, спеціальні машини радіаційного та хімічного захисту – лабораторного контролю).

Значну частину парку оперативних ТЗ підрозділів АРФ (6,48 % від загальної чисельності парку ТЗ) складають вантажні автомобілі, які використовуються в підрозділах досить рідко і переважно для господарських потреб. Звичайно їх експлуатація супроводжується значними витратами, які пов'язані з проведенням їх періодичного ТО, ремонтами та оформленням страхових полісів. Скоротити ці витрати можна за рахунок оснащення підрозділів транспортними кузовами-контейнерами.

За результатами проведеного аналізу та врахування порядку проведення процесів пожежогасіння та АРР можна сформулювати кінцевий перелік видів

спеціалізованих кузовів-контейнерів і перелік цільових завдань, які вони повинні виконувати:

а) кузов-контейнер 1-го типу – пожежний – повинен містити пожежно-технічне спорядження для проведення пожежогасіння, димовидалення, розбору будівельних конструкцій, містити запас вогнегасних речовин та засобів для евакуації людей з небезпечних зон (орієнтовний перелік засобів і спорядження з метою його комплектування слід обирати як для автоцистерни згідно [129]);

б) кузов-контейнер 2-го типу – радіаційного та хімічного захисту (для проведення демеркуризації, дегазації, дезактивації й ліквідації наслідків розливів та/або викидів НХР) – орієнтовний перелік засобів і спорядження необхідно обирати як для спеціальних машин радіаційного та хімічного захисту згідно [130];

в) кузов-контейнер 3-го типу – аварійно-рятувальний контейнер (для проведення АРР, пов'язаних зі звільненням постраждалого населення з-під завалів, з ям, із ТЗ під час виникнення ДТП; допомога населенню, яка пов'язана з відкриванням дверей будинків, квартир, підвалів та ін.; допомога комунальним службам міста у ліквідації наслідків природних катаклізмів) – орієнтовний перелік засобів і спорядження необхідно обирати як для спеціальних аварійно-рятувальних машин згідно [130];

г) кузов-контейнер 4-го типу – транспортний (для забезпечення перевезення різноманітних вантажів та забезпечення господарських потреб підрозділів).

Обґрунтування необхідних видів знімних кузовів-контейнерів у комплексі з автомобілями-носіями при оснащенні підрозділів АРФ м. Харкова було виконано у роботі [15].

Відповідно до запропонованої в пункті 4.2 методики проведення чисельних експериментів, необхідно визначити за допомогою математичної моделі (4.5) ймовірність одночасного залучення певної кількості автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів під час ліквідації ЛНС. Як вихідні дані для розрахунку ймовірності одночасного залучення певної чисельності автомобілів-носіїв було взято час обслуговування виклику згідно з таблицею 4.11 (середнє значення за загальним потоком викликів) та показник частоти залучення автомобілів на

обслуговування викликів із підрозділів АРФ (4.4). При розрахунках ймовірності залучення автомобілів-носіїв на обслуговування викликів з підрозділів АРФ у математичну модель (4.5) були підставлені наступні значення:

- за результатами аналізу статистичних даних щодо загальної кількості оперативних ТЗ, які залучалися до обслуговування викликів у м. Харкові за період 2014–2016 рр., було встановлено, що показник приведеної чисельності автомобілів на виклик, який був розрахований за формулою (4.4), становить 1,384 автомобілів/виклик;
- як показник частоти викликів (λ) було підставлено показник загальної частоти викликів, які надходили до АРФ та який було отримано шляхом сумування числових значень другого стовпця таблиці 4.4.

Результати проведених розрахунків ймовірності одночасної зайнятості певної чисельності автомобілів-носіїв наведені в таблиці 4.13.

За результатами проведеного розрахунку (таблиця 4.13) було встановлено, що максимальна ймовірна чисельність одночасно залучених автомобілів-носіїв на виклик (r_{a-n}) становить 12.

Таблиця 4.13 – Результати розрахунку ймовірності одночасного залучення r -ї кількості автомобілів-носіїв на виклики за аналізований період часу

Ймовірна кількість одночасно залучених автомобілів-носіїв на виклик	Ймовірність виникнення	Ймовірний час зайнятості обслуговуванням викликів, год
1	2	3
0	0,377691914	3317,646
1	0,367749725	3230,314
2	0,179034625	1572,64
3	0,058107266	510,4142

Продовження таблиці 4.13

1	2	3
4	0,014144419	124,2446
5	0,002754418	24,1948
6	0,000446985	3,926319
7	$6,21741 \cdot 10^{-5}$	0,546138
8	$7,56719 \cdot 10^{-6}$	0,06647
9	$8,18666 \cdot 10^{-7}$	0,007191
10	$7,97116 \cdot 10^{-8}$	0,0007
11	$7,05575 \cdot 10^{-9}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$
12	$5,72502 \cdot 10^{-10}$	$5,03 \cdot 10^{-6}$

Використовуючи розрахункову формулу (4.9), було визначено, що загальна чисельність автомобілів-носіїв у АРФ повинна становити 31.

Для визначення чисельності кузовів-контейнерів 1-го типу було взято наступні вихідні значення:

- час обслуговування виклику – згідно з таблицею 4.11 (середнє значення за потоком викликів, які пов'язані з першою групою ЛНС);
- показник приведеної чисельності автомобілів на виклик, який був розрахований за формулою (4.4), становить 1,41 автомобілів/виклик;
- як показник частоти викликів (λ) було підставлено показник частоти викликів на першу групу ЛНС, які надходили до АРФ та який було отримано шляхом сумування числових значень третього стовпця таблиці 4.4.

Результати проведених розрахунків ймовірності одночасної зайнятості певної чисельності кузовів-контейнерів 1-го типу наведені в таблиці 4.14.

За результатами проведеного розрахунку (таблиця 4.14) було встановлено, що максимальна ймовірна чисельність одночасно залучених кузовів-контейнерів 1-го типу на виклик ($r_{\text{кк.п}}$) становить 10.

Використовуючи розрахункову формулу (4.10), було визначено, що загальна чисельність кузовів-контейнерів 1-го типу у підрозділах АРФ повинна становити 29.

Таблиця 4.14 – Результати розрахунку ймовірності одночасного залучення r -ї кількості кузовів-контейнерів 1-го типу на виклики за аналізований період часу

Ймовірна кількість одночасно залучених автомобілів-носіїв на виклик	Ймовірність виникнення	Ймовірний час зайнятості обслуговуванням викликів, год
1	2	3
0	0,499491098	4387,53
1	0,346729489	3045,672
2	0,120343825	1057,1
3	0,027846177	244,6008
4	0,004832464	42,44836
5	0,000670906	5,893238
6	$7,762 \cdot 10^{-5}$	0,681814
7	$7,6973 \cdot 10^{-6}$	0,067613
8	$6,679 \cdot 10^{-7}$	0,005867
9	$5,15148 \cdot 10^{-8}$	0,000453
10	$3,57598 \cdot 10^{-9}$	$3,14 \cdot 10^{-5}$

Для визначення чисельності кузовів-контейнерів 2-го типу було взято наступні вихідні значення:

- час обслуговування виклику – згідно з таблицею 4.11 (середнє значення за потоком викликів, які пов'язані з другою групою ЛНС);
- показник приведеної чисельності автомобілів на виклик, який було розраховано за формулою (4.4), становить 1,02 автомобілів/виклик;

- як показник частоти викликів (λ) було підставлено показник частоти викликів на другу групу ЛНС, які надходили до підрозділів АРФ та який було отримано шляхом сумування числових значень четвертого стовпця таблиці 4.4.

Результати проведених розрахунків ймовірності одночасної зайнятості певної чисельності кузовів-контейнерів 2-го типу наведені в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15 – Результати розрахунку ймовірності одночасного залучення r -ї кількості кузовів-контейнерів 2-го типу на виклики за аналізований період часу

Ймовірна кількість одночасно залучених автомобілів-носіїв на виклик	Ймовірність виникнення	Ймовірний час зайнятості обслуговуванням викликів, год
1	2	3
0	0,989028313	8687,625
1	0,010911277	95,84466
2	$6,01883 \cdot 10^{-5}$	0,528694
3	$2,21339 \cdot 10^{-7}$	0,001944
4	$6,10471 \cdot 10^{-10}$	$5,36 \cdot 10^{-6}$

За результатами проведеного розрахунку (таблиця 4.15) було встановлено, що максимальна ймовірна чисельність одночасно залучених кузовів-контейнерів 2-го типу на виклик становить 4.

Використовуючи розрахункову формулу (4.11) та долю викликів вказаної групи від загальної, яка становить 0,0146, було визначено, що загальна чисельність кузовів-контейнерів 2-го типу в підрозділах АРФ повинна становити 5.

Для визначення чисельності кузовів-контейнерів 3-го типу було взято наступні вихідні значення:

- час обслуговування виклику – згідно з таблицею 4.11 (середнє значення за потоком викликів, які пов'язані з третьою групою ЛНС);

- показник приведеної чисельності автомобілів на виклик, який було розраховано за формулою (4.4), становить 1,02 автомобілів/виклик;

- як показник частоти викликів (λ) було підставлено показник частоти викликів на третю групу ЛНС, які надходили до підрозділів АРФ та який було отримано шляхом сумування числових значень п'ятого стовпця таблиці 4.4.

Результати проведених розрахунків ймовірності одночасної зайнятості певної чисельності кузовів-контейнерів 3-го типу наведені в таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 – Результати розрахунку ймовірності одночасного залучення r -ї кількості кузовів-контейнерів 3-го типу на виклики за аналізований період часу

Ймовірна кількість одночасно залучених автомобілів-носіїв на виклик	Ймовірність виникнення	Ймовірний час зайнятості обслуговуванням викликів, год
1	2	3
0	0,897818783	7886,44
1	0,096773221	850,056
2	0,005215449	45,8125
3	0,000187386	1,645998
4	$5,04944 \cdot 10^{-6}$	0,044354
5	$1,08853 \cdot 10^{-7}$	0,000956
6	$1,95549 \cdot 10^{-9}$	$1,72 \cdot 10^{-5}$

За результатами проведеного розрахунку (таблиця 4.16) було встановлено, що максимальна ймовірна чисельність одночасно залучених кузовів-контейнерів 3-го типу на виклик становить 6.

Використовуючи розрахункову формулу (4.11) та долю викликів цієї групи від загальної, яка становить 0,181, було визначено, що загальна чисельність кузовів-контейнерів 3-го типу в підрозділах АРФ повинна становити 10.

Зведені дані за загальною чисельністю автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів різних типів наведені в таблиці 4.17.

Таблиця 4.17 – Визначена чисельність автомобілів-носіїв та кузовів-контейнерів різних типів для оснащення підрозділів АРФ м. Харкова

Найменування об'єкта	Загальна чисельність, од.
Автомобіль-носіїв	31
Кузов-контейнер 1-го типу	29
Кузов-контейнер 2-го типу	5
Кузов-контейнер 3-го типу	10

Існуюча чисельність оперативних ТЗ, які перебувають в оперативному розрахунку в підрозділах АРФ (не враховуючи автодрабин та автопідйомників), становить 35 одиниць, а при озброєнні їх автомобілями-носіями зі знімними кузовами-контейнерами загалом чисельність рухомого складу зменшується на 4 одиниці, тобто майже на 11,4 %.

Таким чином, користуючись запропонованою в пункті 4.2 методикою, було визначено загальну чисельність автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів встановлених типів для озброєння підрозділів АРФ м. Харкова. Для забезпечення мінімізації часу доставки засобів і спорядження з підрозділів АРФ до місця ліквідації ЛНС та загалом мінімізації часу реагування оперативно-рятувальних сил необхідно виконати раціональний перерозподіл автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів по підрозділах, з урахуванням розробленої в пункті 4.2 методики.

4.3.2. Проведення процедури мінімізації часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації

Користуючись рекомендаціями, наведеними в пункті 4.2, та за допомогою функції (4.12) було проведено перерозподіл автомобілів-носіїв по підрозділах АРФ. Вихідні дані для проведення розрахунку наведені в таблиці 4.18, а результати розрахунку – на рис. 4.15.

Таблиця 4.18 – Вихідні дані для проведення перерозподілу автомобілів-носіїв по підрозділах АРФ м. Харкова

Найменування підрозділу	Загальна кількість викликів	Пропонована кількість автомобілів-носіїв	Кількість викликів, яка припадатиме на один автомобіль-носіїв
1	2	3	4
ДПРЧ-1	430	2	215
ДПРЧ-2	519	2	259,5
ДПРЧ-3	357	1	357
ДПРЧ-4	294	1	294
ДПРЧ-5	524	2	262
ДПРЧ-6	325	2	162,5
ДПРЧ-7	137	1	137
ДПРЧ-8	442	2	221
ДПРЧ-9	588	3	196
ДПРЧ-11	453	1	453
ДПРЧ-17	358	1	358
ДПРЧ-18	690	3	230
ДПРЧ-22	283	1	283

Продовження таблиці 4.18

1	2	3	4
ДПРЧ-25	212	2	106
ДПРЧ-26	90	1	90
ДПРЧ-27	261	1	261
ДПРЧ-32	303	2	151,5
ДПРЧ-36	51	1	51
ДПРЧ-41	188	2	94

6	Целевая ячейка (Минимум)			
7	Ячейка	Имя	Исходное значение	Результат
8	\$D\$22		10915,25731	2564,032238
9				
10				
11	Изменяемые ячейки			
12	Ячейка	Имя	Исходное значение	Результат
13	\$C\$3	ДПРЧ-1 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	2	1,936763415
14	\$C\$4	ДПРЧ-2 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	2	2,280922829
15	\$C\$5	ДПРЧ-3 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	1	1,621262213
16	\$C\$6	ДПРЧ-4 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	1	1,356451441
17	\$C\$7	ДПРЧ-5 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	2	2,300666365
18	\$C\$8	ДПРЧ-6 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	2	1,485439726
19	\$C\$9	ДПРЧ-7 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	1	1
20	\$C\$10	ДПРЧ-8 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	2	1,970670901
21	\$C\$11	ДПРЧ-9 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	3	2,550663699
22	\$C\$12	ДПРЧ-11 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	1	2,017581109
23	\$C\$13	ДПРЧ-17 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	1	1,624720346
24	\$C\$14	ДПРЧ-18 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	3	2,943055828
25	\$C\$15	ДПРЧ-22 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	1	1,306381802
26	\$C\$16	ДПРЧ-25 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	2	1
27	\$C\$17	ДПРЧ-26 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	1	1
28	\$C\$18	ДПРЧ-27 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	1	1,212839334
29	\$C\$19	ДПРЧ-32 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	2	1,392580991
30	\$C\$20	ДПРЧ-36 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	1	1
31	\$C\$21	ДПРЧ-41 Пропонована кількість автомобілів-носіїв	2	1

Рисунок 4.15 – Результати перерозподілу визначеної чисельності автомобілів-носіїв по підрозділах АРФ м. Харкова

Після проведення процедури округлення числових значень, кінцеву чисельність автомобілів-носіїв по підрозділах АРФ м. Харкова наведена в таблиці 4.19. Дисперсія значень відношення кількості викликів до чисельності автомобілів-носіїв при довільному розподілі останніх по підрозділах АРФ

(таблиця 4.18) становила 10915,26, а при виконанні перерахунку з використанням рекомендацій, наведених в пункті 4.2, – 4412,365. Таким чином, за розрахованими значеннями дисперсії можна зробити висновок, що, користуючись рекомендаціями, наведеними в пункті 4.2, можна досягти максимально рівномірного розподілу автомобілів-носіїв по підрозділах АРФ з урахуванням існуючої частоти потоку викликів у районах виїзду підрозділів.

Таблиця 4.19 – Пропонована чисельність автомобілів-носіїв для озброєння підрозділів АРФ м. Харкова

Найменування підрозділу	ДПРЧ-1	ДПРЧ-2	ДПРЧ-3	ДПРЧ-4	ДПРЧ-5	ДПРЧ-6	ДПРЧ-7	ДПРЧ-8	ДПРЧ-9	ДПРЧ-11	ДПРЧ-17	ДПРЧ-18	ДПРЧ-22	ДПРЧ-25	ДПРЧ-26	ДПРЧ-27	ДПРЧ-32	ДПРЧ-36	ДПРЧ-41
Пропонована чисельність автомобілів-носіїв	2	2	2	1	2	2	1	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1

Вихідні дані для проведення перерозподілу кузовів-контейнерів 1-го типу наведені в таблиці 4.20, а результати розрахунку – на рис. 4.16. Після проведення процедури округлення числових значень, кінцеву чисельність кузовів-контейнерів 1-го типу по підрозділах АРФ м. Харкова наведено в таблиці 4.21.

Дисперсія значень відношення кількості викликів до чисельності кузовів-контейнерів 1-го типу при довільному розподілі останніх по підрозділах АРФ (таблиця 4.20) становила 4794,578, а при виконанні перерахунку з використанням рекомендацій, наведених у пункті 4.2, – 3649,427. Таким чином, за розрахованими значеннями дисперсії можна зробити висновок, що, користуючись рекомендаціями, наведеними в пункті 4.2, можна досягти максимально рівномірного розподілу кузовів-контейнерів 1-го типу по підрозділах АРФ з урахуванням існуючої частоти потоку викликів у районах виїзду підрозділів.

6	Целевая ячейка (Минимум)			
7	Ячейка	Имя	Исходное значение	Результат
8	\$D\$21		4794,577973	2124,15165
9				
10				
11	Изменяемые ячейки			
12	Ячейка	Имя	Исходное значение	Результат
13	\$C\$2	ДПРЧ-1 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	2	1,754099098
14	\$C\$3	ДПРЧ-2 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	2	1,887497602
15	\$C\$4	ДПРЧ-3 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1,438691213
16	\$C\$5	ДПРЧ-4 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1,427956857
17	\$C\$6	ДПРЧ-5 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	3	2,472477758
18	\$C\$7	ДПРЧ-6 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	2	1,331102851
19	\$C\$8	ДПРЧ-7 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1
20	\$C\$9	ДПРЧ-8 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1,702248691
21	\$C\$10	ДПРЧ-9 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	3	2,228593119
22	\$C\$11	ДПРЧ-11 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	2	1,846715443
23	\$C\$12	ДПРЧ-17 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1,444029956
24	\$C\$13	ДПРЧ-18 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	3	2,734905469
25	\$C\$14	ДПРЧ-22 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1,293124879
26	\$C\$15	ДПРЧ-25 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1
27	\$C\$16	ДПРЧ-26 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1
28	\$C\$17	ДПРЧ-27 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1,19457108
29	\$C\$18	ДПРЧ-32 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1,243985982
30	\$C\$19	ДПРЧ-36 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1
31	\$C\$20	ДПРЧ-41 Пропонована кількість кузовів-контейнерів типу 1	1	1

Рисунок 4.16 – Результати перерозподілу визначеної чисельності кузовів-контейнерів 1-го типу по підрозділах АРФ м. Харкова

Таблиця 4.20 – Вихідні дані для проведення перерозподілу кузовів-контейнерів 1-го типу по підрозділах АРФ м. Харкова

Найменування підрозділу	Загальна кількість викликів	Пропонована кількість автомобілів-носіїв	Кількість викликів, яка припадатиме на один автомобіль-носіїв
1	2	3	4
ДПРЧ-1	305	2	152,5
ДПРЧ-2	331	2	165,5
ДПРЧ-3	245	1	245
ДПРЧ-4	243	1	243
ДПРЧ-5	449	3	149, 7

Продовження таблиці 4.20

1	2	3	4
ДПРЧ-6	225	2	112,5
ДПРЧ-7	69	1	69
ДПРЧ-8	295	1	295
ДПРЧ-9	399	3	133
ДПРЧ-11	323	2	161,5
ДПРЧ-17	246	1	246
ДПРЧ-18	504	3	168
ДПРЧ-22	218	1	218
ДПРЧ-25	160	1	160
ДПРЧ-26	65	1	65
ДПРЧ-27	200	1	200
ДПРЧ-32	209	1	209
ДПРЧ-36	22	1	22
ДПРЧ-41	142	1	142

Таблиця 4.21 – Пропонована чисельність кузовів-контейнерів 1-го типу для оснащення підрозділів АРФ м. Харкова

Найменування підрозділу	ДПРЧ-1	ДПРЧ-2	ДПРЧ-3	ДПРЧ-4	ДПРЧ-5	ДПРЧ-6	ДПРЧ-7	ДПРЧ-8	ДПРЧ-9	ДПРЧ-11	ДПРЧ-17	ДПРЧ-18	ДПРЧ-22	ДПРЧ-25	ДПРЧ-26	ДПРЧ-27	ДПРЧ-32	ДПРЧ-36	ДПРЧ-41
Пропонована чисельність кузовів-контейнерів 1-го типу	2	2	1	1	3	1	1	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1

Для проведення перерозподілу визначеної чисельності кузовів-контейнерів 2-го типу, у зв'язку з виконанням умови (4.17), необхідно, використовуючи статистичні дані, які відображають рівень стабільності залучень оперативних ТЗ окремих видів із підрозділів АРФ на обслуговування викликів у м. Харкові (таблиця 4.10), провести рейтингову оцінку (підрозділи, у яких коефіцієнт варіації дорівнює нулю, до розгляду не беруться). Запропонований варіант комплектування підрозділів АРФ м. Харкова знімними кузовами-контейнерами 2-го та 3-го типів наведено в таблиці 4.22.

Таблиця 4.22 – Пропонована чисельність кузовів-контейнерів 2-го та 3-го типів для оснащення підрозділів АРФ м. Харкова

Найменування підрозділу	ДПРЧ-1	ДПРЧ-2	ДПРЧ-3	ДПРЧ-4	ДПРЧ-5	ДПРЧ-6	ДПРЧ-7	ДПРЧ-8	ДПРЧ-9	ДПРЧ-11	ДПРЧ-17	ДПРЧ-18	ДПРЧ-22	ДПРЧ-25	ДПРЧ-26	ДПРЧ-27	ДПРЧ-32	ДПРЧ-36	ДПРЧ-41
Чисельність кузовів-контейнерів 2-го типу	-	1	1	-	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Чисельність кузовів-контейнерів 3-го типу	1	1	1	-	-	1	-	1	1	1	1	1	-	-	-	-	1	-	-

4.3.3. Оцінка ефекту від реалізації процедури мінімізації часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації

Головним показником ефективності в даній роботі є час реагування, який складається із тривалості послідовних етапів, одним з яких є час прямування оперативних ТЗ із підрозділу АРФ до місця ліквідації ЛНС.

Час прямування, головним чином, буде залежати від середньої швидкості, з якою рухаються оперативні ТЗ до місця виклику у відповідному населеному пункті, та дистанції прямування.

З метою визначення середньої швидкості прямування оперативних ТЗ до місць викликів у м. Харкові були проведені вибіркові дослідження масиву статистичних даних. Загалом із масиву даних про 5544 виклики (протягом 2016 року) після певної їх обробки було залишено 5262. Суть вказаної обробки полягала у вилученні даних про ті виклики, у котрих була відсутня інформація про час виїзду оперативних ТЗ (випадки, коли підрозділ направлявся з місця обслуговування попереднього виклику на обслуговування нового виклику, а також коли час виїзду оперативних ТЗ із якихось причин не був відображений у звіті).

Для отримання адекватних результатів досліджень необхідно було визначити обсяг вибірки (E) із генеральної сукупності даних. З цією метою було використано наступну розрахункову формулу [136]:

$$E = \frac{1}{\Delta^2 + \frac{1}{D}}, \quad (4.22)$$

де Δ^2 – помилка репрезентативності;

D – об'єм генеральної сукупності.

При обранні помилки репрезентативності на рівні 0,05 та об'ємі генеральної сукупності 5262 отримано обсяг вибірки у кількості 371,74, а при округленні у більшу сторону – 372.

З метою здійснення випадкової вибірки 372 значень з 5262 було використано функцію «Вибірка» табличного редактора, що дозволило виконати повторну випадкову вибірку.

На рис. 4.17 наведено фрагмент таблиці, в якій відображено статистичні дані стосовно місця виклику, найменування першого підрозділу, який прибув на місце виклику, та часу його прямування.

	A	B	C	D	AB	BC	BD	BF	BH	BI
	Номер спостереження	Дата	Місяць	Рік	ДПРЧ/АРЗСП	Час виїзду	Час прибуття	Час прямування	Район міста	Адреса місця виклику
1										
2	1	1	1	2016	41	1:38:00	1:49:00	0:11:00	єрвонозаводський	просп. Гагаріна, 252
3	2	1	1	2016	22	6:29:00	6:36:00	0:07:00	Київський	вул. Н. Ужвій, 62
4	3	1	1	2016	26	2:31:00	2:38:00	0:07:00	Жовтневий	вул. Черепанових, 4
5	4	1	1	2016	32	7:55:00	8:07:00	0:12:00	Дзержинський	вул. Побєдоносна, 19
6	5	1	1	2016	32	9:55:00	10:02:00	0:07:00	Дзержинський	просп. Перемоги, 65
7	6	1	1	2016	1	23:03:00	23:12:00	0:09:00	Дзержинський	вул. О. Яроша, 26
8	7	1	1	2016	5	11:32:00	11:48:00	0:16:00	Московський	вул. Гв. Широнінців, 9А
9	8	1	1	2016	18	18:37:00	18:45:00	0:08:00	Московський	вул. Гв. Широнінців, 67
10	9	1	1	2016	18	5:23:00	5:31:00	0:08:00	Московський	вул. Валентинівська, 58А
11	10	1	1	2016	18	7:15:00	7:21:00	0:06:00	Московський	просп. Тракторобудівників, 134Б
12	11	1	1	2016	18	11:23:00	11:33:00	0:10:00	Московський	вул. Г. Праці, 68А
13	12	1	1	2016	17	1:08:00	1:19:00	0:11:00	Дзержинський	вул. Сумська, 3
14	13	1	1	2016	17	5:24:00	5:31:00	0:07:00	Дзержинський	проїзд Рогатинський, 3
15	14	1	1	2016	22	12:11:00	12:18:00	0:07:00	Київський	вул. Н. Ужвій, 62
16	15	1	1	2016	22	16:56:00	17:04:00	0:08:00	Київський	вул. Н. Ужвій, 92
17	16	1	1	2016	9	15:56:00	16:05:00	0:09:00	Київський	вул. Вологодська, 35А
18	17	1	1	2016	9	1:29:00	1:33:00	0:04:00	Київський	вул. Пушкінська, 45
19	18	1	1	2016	9	3:40:00	3:48:00	0:08:00	Київський	вул. Сумська, 60
20	19	1	1	2016	18	14:23:00	14:28:00	0:05:00	Київський	вул. Барабашова, 38
21	20	2	1	2016	7	20:19:00	20:24:00	0:05:00	Жовтневий	просп. Ново-Баварський, 93
22	21	2	1	2016	6	3:19:00	3:25:00	0:06:00	Ленінський	вул. Соціалістична, 74

Рисунок 4.17 – Фрагмент таблиці, в якій наведено статистичні дані про характер оперативної обстановки в м. Харкові

Для визначення дистанції по повітряній лінії між підрозділами АРФ та місцем виклику було використано картографічний сервіс Scribble Maps.

Після нанесення місць дислокації підрозділів АРФ на карту м. Харкова, по черзі відбувалося нанесення місць виникнення ЛНС, відповідно до вибраних даних із генеральної сукупності, та розраховувалися відповідні відстані. Після цього було розраховано для кожного виклику швидкість прямування та загалом за отриманими показниками – середній показник швидкості прямування, який для м. Харкова у 2016 році склав 18,9 км/год. Показник дисперсії значень вибірки (показників

швидкості прямування) становив 132,46, а показник стандартного відхилення значень від їх середнього показника – 11,51.

При запропонованому варіанті оснащення підрозділів АРФ кузовами-контейнерами 1-го типу враховуючи те, що вони будуть у кожному підрозділі, дистанція прямування не змінюється, а при озброєнні підрозділів кузовами-контейнерами 2-го та 3-го типів – змінюється, тому для останніх було проведено оцінку ефекту.

Для зручності визначення ефекту від варіантів оснащення АРФ автомобілями-носіями зі знімними кузовами-контейнерами 2-го та 3-го типів було взято певний змінний граничний показник коефіцієнта варіації та, варіюючи його числове значення, визначено можливі показники дистанції й часу прямування при різних варіантах комплектування підрозділів.

З цією метою були визначені відстані по повітряній лінії між АРФ, хімічно-небезпечними і радіаційно-небезпечними об'єктами м. Харкова. Для визначення дистанції по повітряній лінії між підрозділами АРФ та хімічно-небезпечними і радіаційно-небезпечними об'єктами м. Харкова було використано картографічний сервіс Scribble Maps, який використовує карти Google Maps, OpenStreetMap та Cloud Made. При визначенні відстаней між об'єктами необхідно враховувати непрямолінійність ВДМ.

Визначити відстань між об'єктами, з урахуванням коефіцієнта непрямолінійності ВДМ, дозволяє наступна формула [137]:

$$L = K_{\text{непр}} \cdot L_0, \quad (4.23)$$

де $K_{\text{непр}}$ – коефіцієнт непрямолінійності ВДМ;

L_0 – довжина повітряної лінії, км.

На числове значення коефіцієнта непрямолінійності ВДМ справляє вплив планувальна схема ВДМ міста. Згідно [137], у міру розвитку міста, його транспортної системи планувальна схема вулиць все більше набуває вигляду

спочатку радіальної схеми, потім, після будівництва обхідних доріг по границях міста і вулиць, що оперізують центр міста – радіально-кільцевої ($K_{\text{непр}} = 1,05-1,4$). У межах одного району найчастіше зберігається прямокутна схема вулиць ($K_{\text{непр}} = 1,4-1,5$). Враховуючи це, було взято усереднене числове значення коефіцієнта непрямолінійності ВДМ – 1,4 та виконано побудову матриці відстаней.

Користуючись числовими значеннями розрахованого коефіцієнта варіації (таблиця 4.10) для знімного кузова-контейнера 2-го типу, було визначено граничні показники коефіцієнта варіації, починаючи від 500 із кроком 100 до 2000, та визначено мінімальні дистанції прямування від підрозділів АРФ (АРЗ СП, в якому є на озброєнні спеціальні машини радіаційного та хімічного захисту, і ДПРЧ, в яких пропонується розмістити кузови-контейнери з подібними цільовими завданнями) до хімічно-небезпечних і радіаційно-небезпечних об'єктів м. Харкова при різних варіантах їх розміщення в підрозділах, а потім середні значення цього показника, які наведені в таблиці 4.23.

Таблиця 4.23 – Залежність середньої дистанції прямування з підрозділів АРФ (кузов-контейнер 2-го типу) від граничних показників коефіцієнта варіації

Варіант класифікаційної межі (можливий варіант комплектування)	Граничний показник коефіцієнта варіації	Перелік підрозділів ДПРЧ, в яких пропонується розмістити кузови-контейнери 2-го типу	Середня дистанція прямування з підрозділів АРФ, км
1	2	3	4
1	≤ 500	18; 8	7,89
2	≤ 600	18; 8; 9	5,62
3	≤ 700	18; 8; 9; 2; 3	4,65
4	≤ 800	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17	3,8
5	≤ 900	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4	3,73

Продовження таблиці 4.23

1	2	3	4
6	≤ 1000	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4	3,73
7	≤ 1100	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5	3,65
8	≤ 1200	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1	3,42
9	≤ 1300	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1	3,42
10	≤ 1400	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
11	≤ 1500	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
12	≤ 1600	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
13	≤ 1700	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
14	≤ 1800	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
15	≤ 1900	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
16	≤ 2000	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22; 7; 27; 41	2,95

У міру зміни граничних показників коефіцієнта варіації відповідно змінюється і перелік підрозділів АРФ, в яких рекомендовано розміщувати кузови-контейнери певного типу. Результати цих досліджень були наведені в роботі [19].

Якщо проаналізувати ступінь залежності дистанції прямування з підрозділів АРФ від граничних показників коефіцієнта варіації, то можна дійти висновку, що він є сильно негативним (розрахункове значення коефіцієнта кореляції становить - 0,7131), тобто зі зростанням граничних показників коефіцієнта варіації зменшується дистанція прямування з підрозділів АРФ.

Подібним чином, як і для кузовів-контейнерів 2-го типу, було проведено розрахунки і для кузовів-контейнерів 3-го типу.

В таблиці 4.24 наведено результати розрахунків з визначення середньої дистанції прямування з підрозділів АРФ до хімічно-небезпечних і радіаційно-небезпечних об'єктів м. Харкова. Граничні показники коефіцієнта варіації визначалися з урахуванням статистичних даних, які наведені в таблиці 4.10, починаючи від 200 із кроком 50 до 700.

Якщо проаналізувати ступінь залежності дистанції прямування з підрозділів АРФ від граничних показників коефіцієнта варіації (таблиця 4.10), то можна дійти висновку, що він є сильним негативним (розрахункове значення коефіцієнта кореляції становить - 0,7091), тобто зі зростанням граничних показників коефіцієнта варіації зменшується дистанція прямування з підрозділів АРФ.

Таблиця 4.24 – Залежність дистанції прямування з підрозділів АРФ (кузов-контейнер типу 3) від граничних показників коефіцієнта варіації

Варіант класифікаційної межі (можливий варіант комплектування)	Граничний показник коефіцієнта варіації	Перелік підрозділів ДПРЧ, в яких пропонується розмістити кузови-контейнери 3-го типу	Середня дистанція прямування з підрозділів АРФ, км
1	2	3	4
1	≤ 200	2; 11; 18	7,36
2	≤ 250	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32	3,91

Продовження таблиці 4.24

1	2	3	4
3	≤ 300	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22	3,49
4	≤ 350	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4	3,02
5	≤ 400	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41	2,9
6	≤ 450	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5	2,68
7	≤ 500	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5	2,68
8	≤ 550	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5; 26	2,67
9	≤ 600	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5; 26	2,67
10	≤ 650	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5; 26	2,67
11	≤ 700	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5; 26; 36	2,39

Провівши порівняльний аналіз показника середньої дистанції прямування від підрозділів АРФ до хімічно-небезпечних і радіаційно-небезпечних об'єктів при залученні спеціальних машин радіаційного та хімічного захисту (11,77 км), які на

сьогодні знаходяться лише в АРЗ СП, відповідно із можливим варіантом комплектування підрозділів кузовами-контейнерами 2-го типу (найбільш близький варіант комплектування №3, згідно з таблицею 4.23), можна дійти висновку, що дистанцію прямування можна скоротити майже на 60,5 %.

Аварійно-рятувальні автомобілі й автомобілі першої допомоги на сьогодні розміщені лише в АРЗ СП, ДПРЧ-3, ДПРЧ-8, ДПРЧ-9, ДПРЧ-11, ДПРЧ-17, ДПРЧ-18, ДПРЧ-32. Показник середньої дистанції їх прямування до місць розміщення хімічно-небезпечних і радіаційно-небезпечних об'єктів у м. Харкові становить 4,23 км, а при комплектуванні підрозділів АРФ автомобілями-носіями із запропонованою чисельністю кузовів-контейнерів 3-го типу (найбільш близький варіант комплектування №3, згідно з таблицею 4.24) зазначений показник можна зменшити у середньому майже на 17,5 %.

Після отримання показника середньої швидкості прямування підрозділів у м. Харкові та маючи значення середніх мінімальних дистанцій прямування від підрозділів АРФ при різних варіантах комплектування їх спеціалізованими знімними кузовами-контейнерами, залежно від показника коефіцієнта варіації, було отримано наступні залежності:

- залежність часу прямування з підрозділів АРФ (кузов-контейнер 2-го типу) до хімічно-небезпечних і радіаційно-небезпечних об'єктів м. Харкова від граничного значення показника варіації (рис. 4.18);

- залежність часу прямування з підрозділів АРФ (кузов-контейнер 3-го типу) до хімічно-небезпечних і радіаційно-небезпечних об'єктів м. Харкова від граничного значення показника варіації (рис. 4.19).

На рис. 4.18 і 4.19 червоним кольором зображено лінію тренду.

Отримані залежності можна апроксимувати шляхом побудови рівнянь лінійної регресії.

В таблиці 4.25 наведено результати розрахунків коефіцієнтів рівняння регресії. В якості змінної x у регресійній моделі виступає граничне значення показника варіації.

Значущість коефіцієнтів регресії перевірялася за допомогою t -критерію Стюдента. Розрахункові значення t -критерію Стюдента (таблиця 4.25) були порівняні з критичними значеннями вказаного критерію, яке визначалися за допомогою таблиці Стюдента [134].

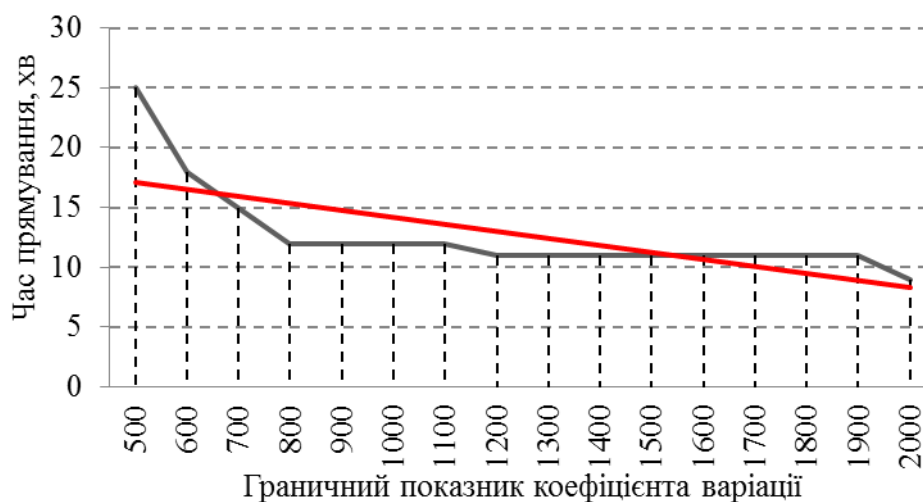


Рисунок 4.18 – Залежність часу прямування з підрозділів АРФ (кузов-контейнер типу 2) до хімічно-небезпечних і радіаційно-небезпечних об'єктів м. Харкова від граничного показника коефіцієнта варіації

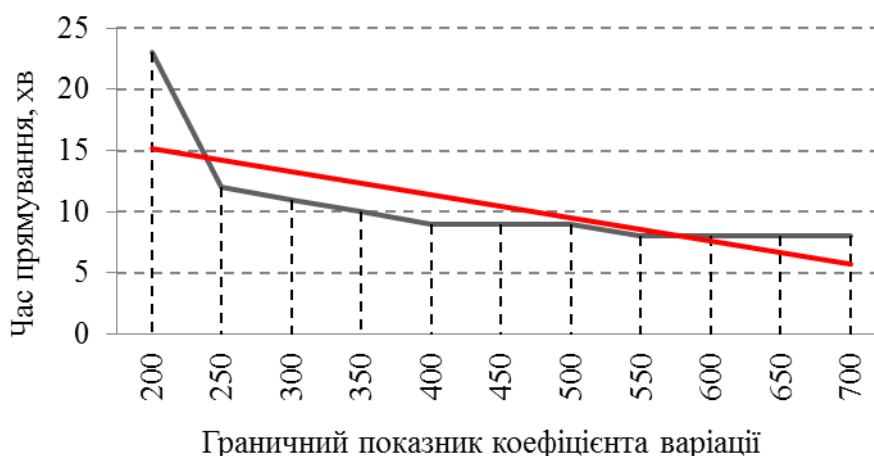


Рисунок 4.19 – Залежність часу прямування з підрозділів АРФ (кузов-контейнер типу 3) до хімічно-небезпечних і радіаційно-небезпечних об'єктів м. Харкова від граничного показника коефіцієнта варіації

Для цього спершу було визначено число ступенів свободи варіації за наступною формулою:

$$v = \omega - 2, \quad (4.24)$$

де ω – обсяг вибірки.

Далі, за допомогою таблиці Стьюдента, при обраному рівні значущості 0,05 було визначено критичне значення t -критерію, яке для даного обсягу вибірки ($\omega=16$) становило 2,145. Оскільки розраховане значення t -критерію Стьюдента за модулем більше критичного значення, то у такому випадку можна дійти висновку, що визначені коефіцієнти рівняння регресії є статистично значущими.

Таблиця 4.25 – Розрахункові значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коефіцієнти рівняння регресії	Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії	Розрахункове значення t -критерію Стьюдента	Довірчий інтервал при ймовірності 95 %	
			нижня межа інтервалу	верхня межа інтервалу
x_0	20,02	10,053	15,75	24,29
x_1	-0,00587	-3,9251	-0,0091	-0,0027

Адекватність побудованої регресійної моделі було перевірено шляхом розрахунку F -критерію Фішера [134]. В таблиці 4.26 наведено критерії значущості й адекватності регресійної моделі.

Критичне значення F -критерію Фішера для рівня значущості 0,05 та за заданих ступенів свободи ($v_1=1, v_2=14$), згідно [134] становить 4,6. Оскільки розрахункове значення F -критерію Фішера більше його табличного критичного

значення, то можна дійти висновку, що регресійна модель у цілому є статистично значущою та може бути представлена у наступному вигляді:

$$y_2 = -0,00587 \cdot x_2 + 20,02, \quad (4.25)$$

де y_2 – прогнозоване значення часу прямування, хв;

x_2 – змінна (граничне показник коефіцієнта варіації).

Таблиця 4.26 – Критерії значущості й адекватності регресійної моделі

Критерій	Значення критерію
Коефіцієнт кореляції (R)	0,724
F - критерій Фішера	15,406

В таблиці 4.27 наведено результати розрахунків коефіцієнтів рівняння регресії, яке відображає зміну часу прямування підрозділів АРФ залежно від обраного граничного показника коефіцієнта варіації для кузовів-контейнерів 3-го типу. В якості змінної x у регресійній моделі виступає граничне значення коефіцієнта варіації.

Таблиця 4.27 – Розрахункові значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коефіцієнти рівняння регресії	Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії	Розрахункове значення t -критерію Стьюдента	Довірчий інтервал при ймовірності 95 %	
			нижня межа інтервалу	верхня межа інтервалу
x_0	18,964	6,51	12,371	25,56
x_1	-0,019	-3,095	-0,0327	-0,0051

Значущість коефіцієнтів регресії перевірялася за допомогою t -критерію Стюдента. Розрахункові значення t -критерію Стюдента наведені в таблиці 4.27. Критичне значення критерію Стюдента, згідно довідкових даних, наведених у [134], (за заданого рівня значущості 0,05 та числа ступенів свободи 9) становить 2,262, а отже, порівнявши їх із розрахунковими значеннями цього критерію за модулем, можна дійти висновку, що визначені коефіцієнти рівняння регресії є статистично значущими.

Адекватність побудованої регресійної моделі можна перевірити шляхом розрахунку F -критерію Фішера [134]. В таблиці 4.28 наведено критерії значущості й адекватності регресійної моделі.

Таблиця 4.28 – Критерії значущості й адекватності регресійної моделі

Критерій	Значення критерію
Коефіцієнт кореляції (R)	0,718
F -критерій Фішера	9,577

Критичне значення F -критерію Фішера для рівня значущості 0,05 за заданих ступенів свободи ($\nu_1 = 1, \nu_2 = 9$), згідно [134], становить 5,12. Оскільки розрахункове значення F -критерію Фішера більше його табличного критичного значення, то можна дійти висновку, що регресійна модель у цілому є статистично значущою та може бути представлена у наступному вигляді:

$$y_3 = -0,019 \cdot x_3 + 18,964, \quad (4.26)$$

де y_3 – прогнозоване значення часу прямування, хв;

x_3 – змінна (граничне значення коефіцієнта варіації).

Отримані в ході досліджень залежності дозволяють побудувати поверхні відгуків (рис. 4.20 і 4.21), які відображатимуть вплив обраного варіанта

комплектування підрозділів АРФ автомобілями-носіями з обраними типами знімних кузовів-контейнерів 2-го та 3-го типів на показники дистанції та часу прямування для м. Харкова.

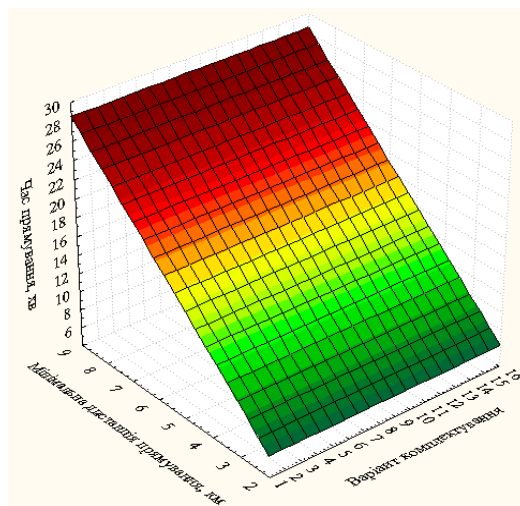


Рисунок 4.20 – Поверхня відгуку, яка відображає вплив обраного варіанта комплектування підрозділів АРФ автомобілями-носіями з кузовами-контейнерами 2-го типу на показники дистанції та часу прямування для м. Харкова

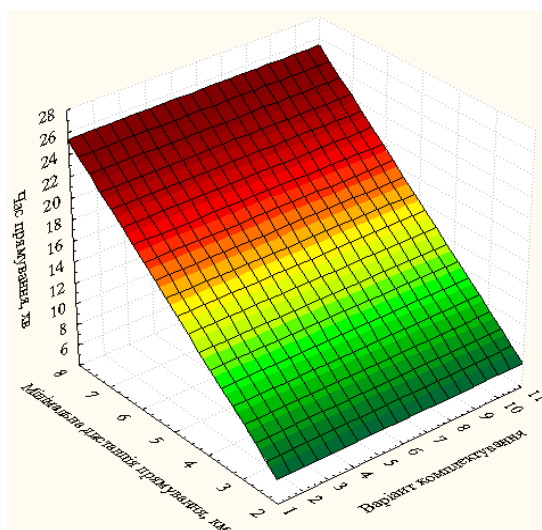


Рисунок 4.21 – Поверхня відгуку, яка відображає вплив обраного варіанта комплектування підрозділів АРФ автомобілями-носіями з кузовами-контейнерами 3-го типу на показники дистанції та часу прямування для м. Харкова

Оцінка можливого ефекту від оснащення підрозділів АРФ м. Харкова автомобілями-носіями зі знімними кузовами-контейнерами була проведена в роботі [3]. Провівши оснащення підрозділів АРФ знімними кузовами-контейнерами 2-го типу, відповідно до запропонованої їх загальної чисельності та місць дислокації, можна досягти скорочення часу прямування до місць ліквідації ЛНС, які були віднесені до 2-ї групи, майже на 22,6 хвилини, а на ЛНС 3-ї групи – на 2,35 хвилини.

Таким чином, залежності, отримані за результатами проведеного комплексного чисельного експерименту, були апроксимовані рівняннями лінійної регресії, коефіцієнти яких перевірялися за критерієм Стюдента з надійністю 0,95. Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера і забезпечує коефіцієнт кореляції не нижче 0,7, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі.

Висновки до четвертого розділу

1. Відповідно розроблено методику проведення чисельного експерименту передбачає виконання п'ятих процедур, а саме: систематизації даних, кластеризації, типізації технічних засобів, ймовірних чисельних оцінок, перерозподілу технічних засобів, що забезпечує перевірку достовірності розробленої математичної моделі.

2. Відповідно розроблено функціональну схему лабораторної установки та комплекс апаратно-програмних засобів, які реалізують запропоновану математичну модель оцінки часу реагування на ЛНС АРФ, при використанні ними багатофункціональних кузовів-контейнерів, та дозволяють перевірити її адекватність. Функціональна схема розробленої лабораторної установки складається з восьми блоків, що розміщені на восьми рівнях, пов'язаних послідовними та ієрархічними зв'язками.

3. Відповідно залежності, отримані за результатами проведеного комплексного чисельного експерименту, були апроксимовані рівняннями лінійної

регресії, коефіцієнти яких перевірялися за критерієм Стюдента з надійністю 0,95. Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера і забезпечує коефіцієнт кореляції не нижче 0,7, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі.

РОЗДІЛ 5. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ВИДІВ ТА ЧИСЕЛЬНОСТІ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОБІЛЬНИХ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ КОНТЕЙНЕРНОГО ТИПУ

Першочергово розглянемо розроблену методику визначення необхідних видів та чисельності БМАРК контейнерного типу, а потім розглянемо її застосування в умовах ТО і ремонту технічних засобів.

5.1. Розробка методики визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу

Методика визначення необхідних видів та чисельності БМАРК контейнерного типу складається з ряду послідовних етапів. На рис. 5.1 наведено структурно-логічну схему трьох основних етапів виконання розрахунків з використанням запропонованої в даній роботі методики. Перед застосуванням запропонованої методики спершу необхідно виконати два підготовчі етапи.

На першому підготовчому етапі необхідно:

- використовуючи статистичні дані про залучення підрозділів АРФ до ліквідації ЛНС, треба: визначити загальну частоту потоку викликів (ЛНС), які надходять окремо до кожного підрозділу АРФ; виконати поділ ЛНС на групи залежно від їх специфіки; окремо за кожним підрозділом АРФ відповідного населеного пункту визначити частоту потоку викликів, які надходять до них за кожною групою ЛНС;

- шляхом виконання суцільних або вибіркового статистичних досліджень провести перевірку статистичних гіпотез про можливість опису потоку викликів, які надходять до підрозділів АРФ, за законом розподілу Пуассона, а часових інтервалів між їх надходженням – експоненційним законом розподілу, що є умовами застосування поданої методики;

- визначити показник середнього часу обслуговування викликів (часовий інтервал від моменту виїзду сил та засобів з підрозділу АРФ з метою ліквідації ЛНС до моменту їх повернення до місця постійної дислокації) як для загального потоку викликів, так і для окремо взятого кожного потоку викликів залежно від поділу на групи ЛНС.

**ЕТАПИ ПРОВЕДЕННЯ
РОЗРАХУНКІВ**

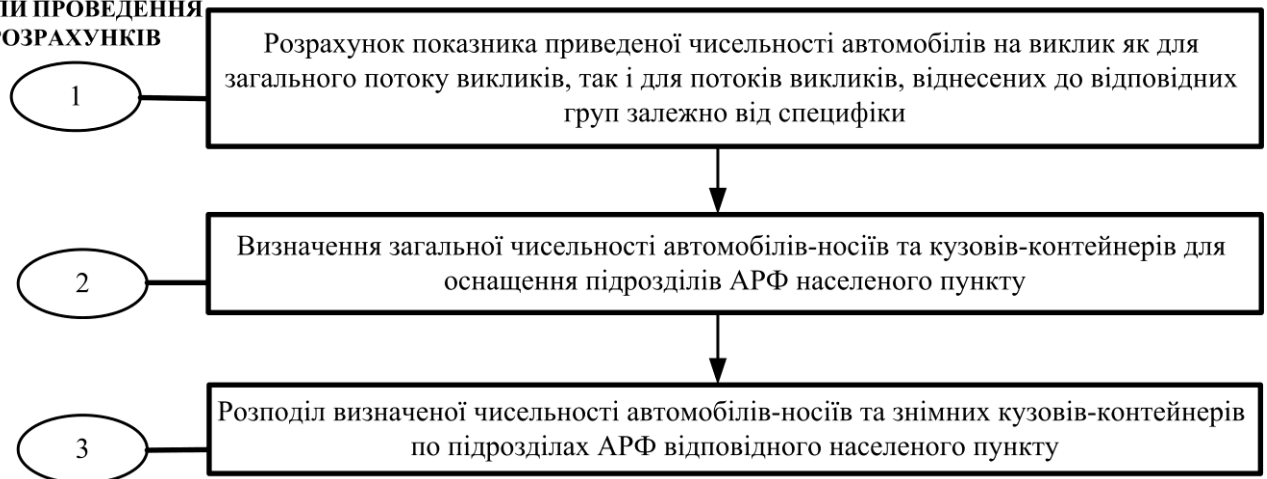


Рисунок 5.1 – Структурно-логічна схема порядку виконання розрахунків

На другому підготовчому етапі необхідно:

- провести аналіз кількості виїздів кожного окремого виду оперативних ТЗ із підрозділів АРФ населеного пункту на проведення оперативних робіт. Далі, з використанням отриманих даних, необхідно провести АВС-аналіз за загальною методикою, наведеною в пункті 4.2 або в роботі [132];
- із застосуванням методу експертної оцінки та використовуючи результати АВС-аналізу, встановити необхідні види та цільові призначення для кузовів-контейнерів, які потрібні для оснащення підрозділів АРФ.

На першому основному етапі необхідно розрахувати показник приведеної чисельності автомобілів на виклик за розрахунковою формулою (4.2). При цьому розрахунки необхідно виконувати окремо як для загального потоку викликів, які надходять до підрозділів АРФ, так і для встановлених на першому етапі груп викликів.

На другому основному етапі необхідно шляхом виконання ймовірнісних оцінок за методикою, описаною в пункті 4.2 (4-та процедура методики проведення чисельного експерименту), розрахувати загальну чисельність автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів різних типів для озброєння підрозділів АРФ відповідного населеного пункту.

На третьому, основному, етапі необхідно, використовуючи запропоновану цільову функцію (4.14) та загальну методику, описану в пункті 4.2 (5-та процедура методики проведення чисельного експерименту), виконати перерозподіл встановленої на попередньому етапі чисельності автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів по підрозділах АРФ населеного пункту. У випадку виконання нерівності (4.18) розподіл знімних кузовів-контейнерів по підрозділах АРФ необхідно проводити на основі розрахованих коефіцієнтів варіації за статистичними даними, які відображають щоденну кількість залучень оперативних ТЗ із підрозділів на ліквідацію певних груп ЛНС (залежно від цільових призначень знімних кузовів-контейнерів), виконавши «рейтингову оцінку».

Окремі етапи методики визначення необхідних видів та чисельності БМАРК контейнерного типу для оснащення підрозділів АРФ наведені в роботах [1, 7, 15, 16, 18, 19].

Таким чином, розроблена методика включає виконання трьох процедур, а саме: розрахунок показника приведеної чисельності автомобілів на виклик, визначення чисельності автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів, перерозподіл автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів по підрозділах АРФ населеного пункту. Перед застосуванням розробленої методики необхідно спершу виконати два підготовчих етапи, а саме: проведення аналізу статистичних даних і перевірку умов застосування розробленої методики, а також визначення видів знімних кузовів-контейнерів. Вказана методика дозволяє визначити види та чисельність БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами для оснащення підрозділів АРФ населеного пункту з урахуванням специфіки оперативної обстановки, яка склалася в їх районах виїзду.

5.2. Використання розробленої методики в умовах технічного обслуговування і ремонту технічних засобів

Відповідно до вимог чинних документів [128, 131] в органах та підрозділах ДСНС України має бути передбачений 100 % резерв основних оперативних ТЗ і 50 % спеціальних, передбачених штатами, що повинні бути готовими до використання їх за призначенням. Згідно [138] в розвинутих країнах, у тому числі в Європі та США, резерв оперативних ТЗ не перевищує 15–20 %, а утримання резерву автомобілів у підрозділах на рівні 100 % визнано економічно недоцільним з причин, які пов'язані з невеликою інтенсивністю їх використання. Можна зробити висновок, що з економічних міркувань доцільно буде переглянути підходи до визначення необхідного резерву оперативних ТЗ у підрозділах АРФ.

Дослідниками в роботі [139] на основі статистичного аналізу впливу зменшення середнього наробітку на імовірність безвідмовної роботи було отримано поліноміальну залежність, за допомогою якої було виконано розрахунки імовірності безвідмовної роботи оперативних ТЗ. За результатами цих розрахунків було встановлено, що імовірність безвідмовної роботи ТЗ упродовж періоду експлуатації перших 10 років зменшується з 0,9993 до 0,9948 [139].

Документом [128] регламентується процес експлуатації ТЗ в органах та підрозділах ДСНС України. Враховуючи порядок і терміни проведення ТО ТЗ [128] в органах та підрозділах ДСНС України, а також характер можливих станів ТЗ [140], можливим є визначення часу перебування резервного автомобіля-носія в оперативному розрахунку, що є необхідною умовою для встановлення їх чисельності в підрозділах АРФ. В таблиці 5.1 наведено перелік видів ТО та ремонтів, а також періодичності їх проведення й терміни виконання для ТЗ стройової групи [128].

Згідно встановлених вимог [128] ТО-1 проводиться в ДПРЧ, а ТО-2 – в технічному підрозділі, який в м. Харкові дислокується на території АРЗ СП.

Таблиця 5.1 – Перелік видів ТО та ремонту, а також періодичності їх проведення і терміни виконання для ТЗ стройової групи

№ з/п	Вид ТО або ремонту	Періодичність або умови, за яких виконується	Терміни проведення
1	2	3	4
1	ТО-1	1 раз на місяць	не більше двох робочих днів
2	ТО-2	1 раз на рік	не більше 4 робочих днів (для великовантажних шасі – до 5 робочих днів)
3	Поточний ремонт ТЗ	не встановлена (за заявками водіїв або під час контрольних оглядів чи діагностики)	не встановлені (визначаються виходячи з переліку необхідних виконуваних робіт і норм трудомісткості)
4	Середній ремонт ТЗ	виконується із пробігом не менше 60 % норми напрацювання до капітального ремонту для нових ТЗ та не менше 50 % для ТЗ, що пройшли капітальний ремонт	не встановлені (визначаються виходячи з переліку необхідних виконуваних робіт і норм трудомісткості)
5	Капітальний ремонт ТЗ	проводиться, якщо стан ТЗ за результатами діагностування визнано «незадовільним»	не встановлені (визначаються виходячи з переліку необхідних виконуваних робіт і норм трудомісткості)

Зазначеними вимогами також встановлено, що ТО-2 суміщається або з ТО-1, або із сезонним ТО, а сезонне ТО суміщається з черговим ТО (ТО-1 або ТО-2). Для проведення ТО-1 і ТО-2 ТЗ знімається з чергування і замінюється резервним [128]. Визначити орієнтовні норми трудомісткості під час проведення поточного ремонту можна враховуючи вимоги документа [141], що також передбачено і рекомендаціями, які наведені в документі [128]. Враховуючи конструктивні особливості автомобілів-носіїв, які оснащені вантажно-розвантажувальним механізмом, при оцінці часу перебування на поточному ремонті можливим є їх прирівняння до автомобілів-тягачів, а трудомісткість виконуваних робіт можна визначити, орієнтуючись на вимоги документа [141], – близько семи годин, а при 8-годинному робочому дні це буде становити приблизно 1 день. Така тривалість проведення поточного ремонту є можливою тому, що основним методом ремонту в підрозділах ДСНС України є агрегатний метод [128], який у значній мірі скорочує час перебування ТЗ на ремонті.

Оцінити загальну надійність парку розрахованої в розділі 4 чисельності автомобілів-носіїв можна, використовуючи наступну розрахункову формулу [140]:

$$P = (P_g)^b, \quad (5.1)$$

де P_g – відповідна ймовірність безвідмовної роботи g -го автомобіля-носія;

b – загальна чисельність автомобілів-носіїв, які входять до складу парку оперативних ТЗ (у конкретному випадку $b = 31$).

Ґрунтуючись на результатах досліджень [139], можна припустити, що ймовірність безвідмовної роботи нового g -го автомобіля-носія (P_i) буде становити 0,9993. За таких умов розрахована за допомогою розрахункової формули (5.1) ймовірність безвідмовної роботи парку автомобілів-носіїв буде становити 0,979. Оснащення підрозділів резервними автомобілями-носіями дозволить загалом підвищити ймовірність безвідмовної роботи парку.

Для встановлення необхідної чисельності резервних автомобілів-носіїв необхідно оцінити загальні терміни перебування автомобілів-носіїв, які перебувають в оперативному розрахунку, на ТО і ремонті за рік.

У випадку прийняття граничних меж перебування кожного окремого автомобіля-носія на ТО (згідно з таблицею 5.1), загалом цей термін буде становити:

- для ТО-1 – 682 дні (для розрахованої в розділі 4 чисельності автомобілів-носіїв);
- для ТО-2 – 155 днів (для розрахованої в розділі 4 чисельності автомобілів-носіїв).

Отже, на даному етапі можна дійти висновку, що для забезпечення регламентів виконання ТО в підрозділах АРФ, враховуючи кількість днів у календарному році – 365, необхідна кількість резервних автомобілів-носіїв повинна становити мінімум 3. При цьому слід також врахувати необхідність проведення ремонтів і ймовірність раптових відмов ТЗ, а тому АРФ необхідно забезпечити додатково ще двома автомобілями-носіями, тобто загалом їх повинно бути не менше 5. Враховуючи обмежену чисельність резервних автомобілів-носіїв, необхідно виконати певні корегування в порядку організації системи проведення ТО і ремонтів. Для організації ТО-1 і ТО-2 загалом достатньо три резервні автомобілі-носії, а призначення решти двох є наступним:

- необхідні для транспортування контейнерів типу 4, тому що автомобілі-носії, які перебувають в оперативному розрахунку, не повинні залучатися у процесі чергування на інші роботи, котрі не стосуються виконання дій за призначенням. З цієї причини підрозділи АРФ м. Харкова пропонується забезпечити загалом двома знімними кузовами-контейнерами типу 4 (враховуючи низьку інтенсивність використання вантажних автомобілів у порівнянні з іншими видами ТЗ, які знаходяться на озброєнні підрозділів АРФ м. Харкова (таблиця 4.12)), а виїзд резервних автомобілів-носіїв передбачати згідно графіка, який повинен складатися на основі попередньо отриманих заявок від оперативних підрозділів м. Харкова;
- необхідні для підвищення ймовірності безвідмовної роботи парку резервних автомобілів-носіїв та організації їх ТО і ремонту;

- у випадку тривалого вилучення з оперативного розрахунку основних автомобілів-носіїв (затяжні ремонти, а також повні виходи з ладу з причин потрапляння їх в ДТП або з інших непередбачуваних причин) резервні будуть поставлені на заміну перших.

Враховуючи те, що чисельність резервних автомобілів-носіїв є досить обмеженою, з метою належного рівня функціонування системи ТО і ремонту, пропонується розробити мінімальний кільцевий маршрут між підрозділами АРФ та розставити з певними інтервалами по ньому в підрозділах резервні ТЗ. Розробивши при цьому певний порядок об'їзду кожного окремого підрозділу АРФ резервними автомобілями-носіями, можна буде забезпечити дотримання встановленого регламенту проведення ТО і ремонтів.

Визначення кільцевого маршруту проводилося для двох випадків:

- у першому випадку було використано матрицю відстаней між підрозділами АРФ, в якій значення вказаного параметра були розраховані за так званою «повітряною лінією», а потім перераховані з використанням коефіцієнта непрямолінійності ВДМ;

- у другому випадку було використано матрицю відстаней між підрозділами АРФ, яку було розраховано за реальною ВДМ м. Харкова з використанням картографічного сервісу Scribble Maps. На рис. 5.2 наведено порядок визначення відстаней між підрозділами АРФ.

Для визначення найкоротшого кільцевого маршруту між підрозділами АРФ було використано табличний редактор та вкладку «Analytic Solver Platform» [142]. При проведенні розрахунку були враховані рекомендації відносно порядку розв'язань транспортних задач та задач про призначення і відбір, які наведені в роботі [143].

Перший визначений маршрут прямування автомобілів-носіїв є наступним:
 ДПРЧ-1 → ДПРЧ-17 → ДПРЧ-6 → ДПРЧ-3 → ДПРЧ-9 → ДПРЧ-4 → ДПРЧ-26 →
 ДПРЧ-7 → ДПРЧ-41 → ДПРЧ-2 → ДПРЧ-11 → ДПРЧ-25 → ДПРЧ-8 → ДПРЧ-5 →
 ДПРЧ-18 → ДПРЧ-22 → ДПРЧ-27 → ДПРЧ-36 → ДПРЧ-32 → ДПРЧ-1.

Перевірка того, що визначений маршрут є кільцевим, була виконана шляхом його побудови на карті (рис. 5.3).

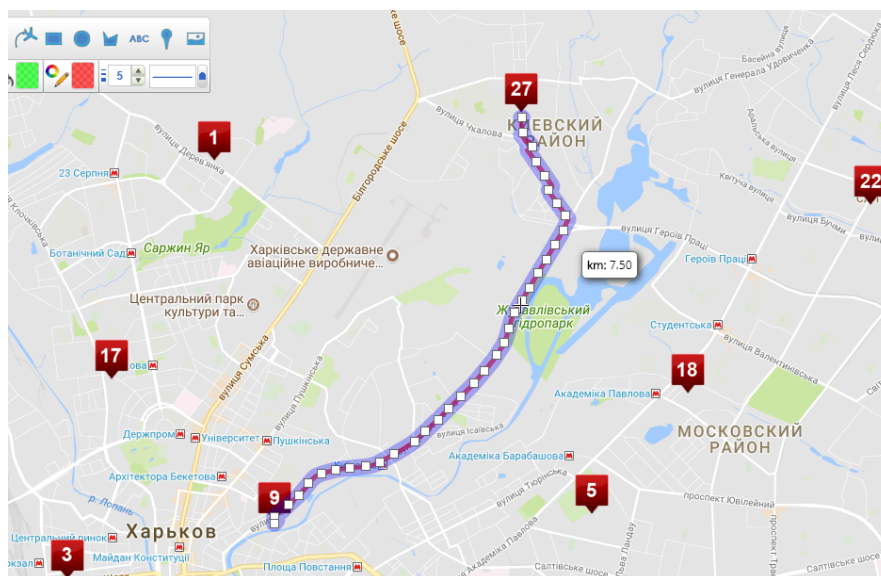


Рисунок 5.2 – Порядок визначення дистанції прямування між підрозділами АРФ м. Харкова

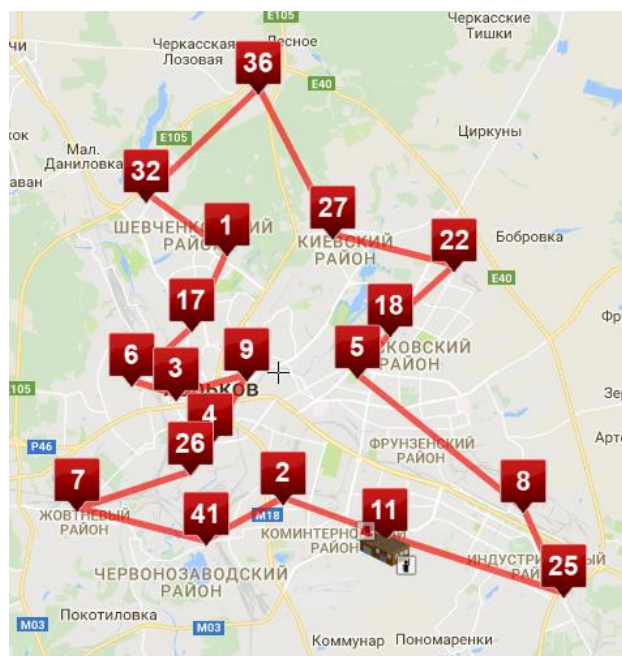


Рисунок 5.3 – Кільцевий маршрут об'їзду всіх підрозділів АРФ м. Харкова (1-й варіант)

Провівши аналіз маршруту, зображеного на рис. 5.3, можна дійти висновку, що він є дійсно кільцевим.

Другий визначений маршрут прямування автомобілів-носіїв є наступним:
ДПРЧ-1 → ДПРЧ-17 → ДПРЧ-9 → ДПРЧ-4 → ДПРЧ-26 → ДПРЧ-3 → ДПРЧ-6 → ДПРЧ-7 → ДПРЧ-41 → ДПРЧ-2 → ДПРЧ-11 → ДПРЧ-25 → ДПРЧ-8 → ДПРЧ-5 → ДПРЧ-18 → ДПРЧ-22 → ДПРЧ-27 → ДПРЧ-36 → ДПРЧ-32 → ДПРЧ-1.

Перевірка того, що визначений маршрут є кільцевим, була виконана шляхом його побудови на карті (рис. 5.4).

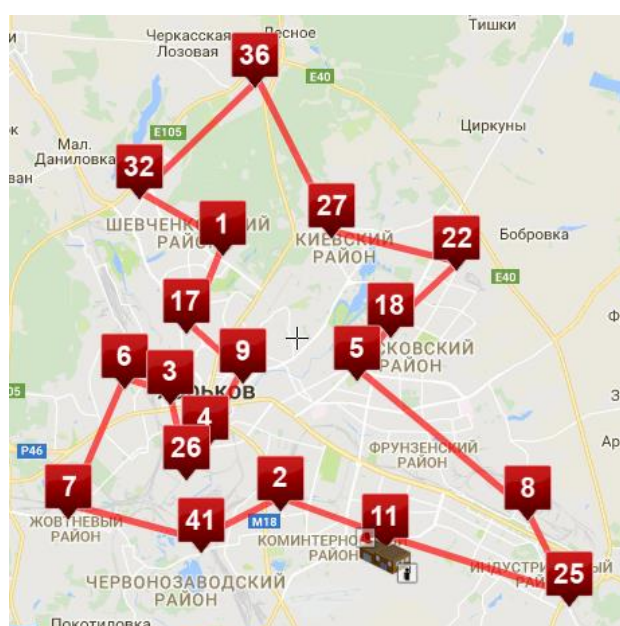


Рисунок 5.4 – Кільцевий маршрут об'їзду всіх підрозділів АРФ м. Харкова (2-й варіант)

Провівши аналіз маршруту, зображеного на рис. 5.4, можна дійти висновку, що він є також кільцевим, але дещо відрізняється від того, який зображено на рис. 5.3. Значення цільової функції (загальної довжини кільцевого маршруту) у першому випадку становило 106,344 км, а у другому випадку – 100,4 км, тобто в останньому випадку довжина маршруту є меншою на 5,944 км. Для об'їзду підрозділів АРФ необхідно використовувати другий маршрут, тому що він є

коротшим та був розрахований по реальній ВДМ м. Харкова, а другий маршрут можна використовувати як альтернативний.

Другий кільцевий маршрут з урахуванням чисельності автомобілів-носіїв, які повинні перебувати в оперативному розрахунку (таблиця 4.17), та чисельності резерву було поділено на три ділянки:

- ДПРЧ-1 → ДПРЧ-17 → ДПРЧ-9 → ДПРЧ-4 → ДПРЧ-26 → ДПРЧ-3 → ДПРЧ-6 – загальною протяжністю маршруту 20,1 км;
- ДПРЧ-7 → ДПРЧ-41 → ДПРЧ-2 → ДПРЧ-11 → ДПРЧ-25 → ДПРЧ-8 – загальною протяжністю маршруту 29,68 км;
- ДПРЧ-5 → ДПРЧ-18 → ДПРЧ-22 → ДПРЧ-27 → ДПРЧ-36 → ДПРЧ-32 – загальною протяжністю маршруту 29,78 км.

На кожен визначену ділянку буде припадати по одному резервному автомобілю-носію. Для першого резервного автомобіля-носія початок руху буде від ДПРЧ-1, а кінець – в ДПРЧ-6. Під початком руху необхідно розуміти порядок об'їзду АРФ, тобто від ДПРЧ-1 до ДПРЧ-6 включно і відповідно аналогічним чином по інших підрозділах. По прибуттю першого автомобіля-носія в кінцевий пункт (ДПРЧ-6) за умови, що ТО пройшли всі автомобілі, які перебувають в оперативному розрахунку на визначених трьох ділянках кільцевого маршруту, йому необхідно буде виконати переїзд в ДПРЧ-7 (решті резервних автомобілів-носіїв: другому в ДПРЧ-5, а відповідно третьому в ДПРЧ-1). Далі, за умови непорушення регламентів ТО, дані три резервні автомобілі-носії продовжують об'їзд по нових встановлених ділянках маршруту.

Залишені два резервні автомобілі-носії з логістичних міркувань, за умови відносної рівновіддаленості, пропонується розмістити по одному в ДПРЧ-1 та ДПРЧ-25 з відповідними підрозділами для обслуговування:

- для першого резервного автомобіля-носія: ДПРЧ-1, ДПРЧ-17, ДПРЧ-9, ДПРЧ-4, ДПРЧ-26, ДПРЧ-3, ДПРЧ-6, ДПРЧ-7, ДПРЧ-41, ДПРЧ-2, ДПРЧ-11;
- для другого резервного автомобіля-носія: ДПРЧ-25, ДПРЧ-8, ДПРЧ-5, ДПРЧ-18, ДПРЧ-22, ДПРЧ-27, ДПРЧ-36, ДПРЧ-32.

Відповідно в ДПРЧ-1 та ДПРЧ-25 необхідно розмістити по одному знімному кузову-контейнеру 4-го типу.

За необхідності проведення ТО-2 або ремонту одного з трьох резервних автомобілів-носіїв у технічному підрозділі, залежно від місця останньої їх дислокації, на заміну їм необхідно відправити резервний автомобіль з ДПРЧ-1 або ДПРЧ-25 (залежно від переліку підрозділів, які обслуговує дана група резервних автомобілів-носіїв). ТО-1 трьох резервних автомобілів-носіїв, які перебувають на встановлених ділянках маршруту, необхідно виконувати відповідно до встановленої періодичності й термінів проведення даних робіт згідно [128] незалежно від місця їх дислокації (у будь-якому з підрозділів АРФ).

Реалізація описаного підходу до організації проведення ТО і ремонтів дозволяє утримувати резерв автомобілів-носіїв на рівні до 16,1 % від загальної чисельності автомобілів, які перебувають у щоденному оперативному розрахунку, що не суперечить закордонному досвіду [138], а також дозволяє скоротити загалом чисельність резерву майже на 84 % по відношенню до вимог документа [128].

Запропонована організаційна система проведення технічного обслуговування наведена в роботі [4].

На загальний час прибуття підрозділів АРФ до місця ліквідації ЛНС впливає час збору та виїзду. У свою чергу, на час збору та виїзду впливає загальна схема розміщення автомобілів-носіїв та знімних кузовів-контейнерів у гаражі підрозділу. Це пов'язано з тим, що при розміщенні в гаражі підрозділу декількох знімних кузовів-контейнерів різного типу і за обмеженої чисельності автомобілів-носіїв, в окремих випадках доведеться здійснювати операцію заміни перших. Відповідно на процес заміни кузовів-контейнерів буде витрачено певний час, на який впливатиме кількість операцій завантаження-розвантаження та час виконання певних маневрів (розворотів автомобіля-носія, здавання назад, завантаження знімного кузова-контейнера та ін.).

На рис. 5.5 зображено процес заміни знімного кузова-контейнера, специфіка якого полягає у виїзді автомобіля-носія з підрозділу та його розвантаження зовні на фасаді. Такий варіант можливий у випадку, якщо в гаражі досить обмежений

простір, наприклад, за недостатньої висоти стелі, тому що габарит за висотою автомобіля-носія у транспортному положенні відрізняється від даного параметра при виконанні операції завантаження-розвантаження (це пов'язано з особливостями роботи саме вантажно-розвантажувального механізму). Крім цього, в гаражі можуть бути розміщені автодрабина, автопідйомник, резервний автомобіль-носії або інший вид ТЗ.

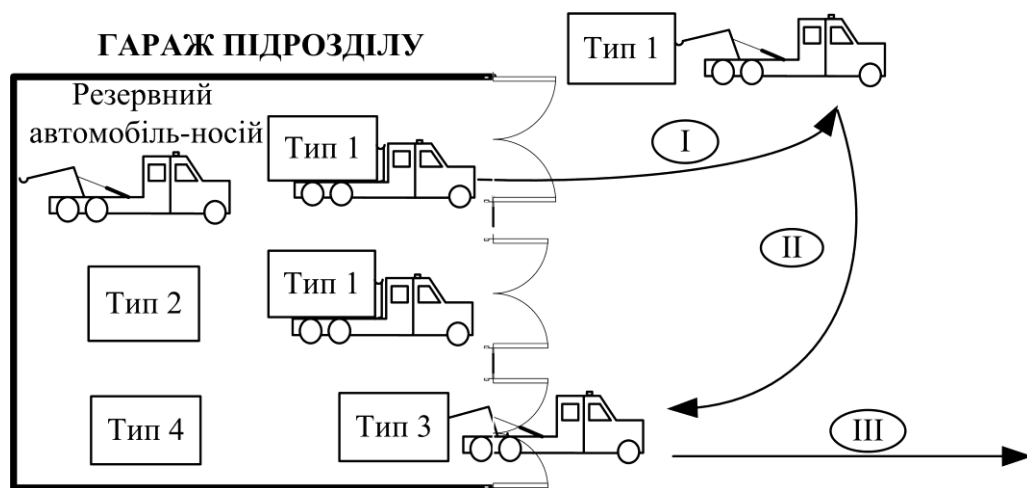


Рисунок 5.5 – Схема процесу заміни кузовів-контейнерів: I – виїзд автомобіля-носія з гаражу підрозділу і розвантаження кузова-контейнера; II – під'їзд до необхідного кузова-контейнера і його завантаження на автомобіль-носії; III – виїзд до місця виклику

З урахуванням особливостей виконання операції заміни кузовів-контейнерів необхідно розробити загальні рекомендації стосовно розміщення БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами в гаражах підрозділів:

а) у першій лінії біля виїзних воріт повинні бути розміщені автомобілі-носії, завантажені тим типом кузовів-контейнерів, які мають найбільшу частоту використання на викликах;

б) у першій лінії біля виїзних воріт мають також розміщуватися автодрабини та автопідйомники. Дану необхідність можна пояснити тим, що спершу по прибуттю на місце виклику проводяться оперативні дії, які спрямовані на

забезпечення безпеки населення, яке може потрапити у зону дії небезпечних чинників ЛНС, а тому затримка даного виду ТЗ (автодрабин та автопідйомників) в населеному пункті може стати причиною затримки евакуаційних заходів, що підвищує, у свою чергу, ймовірність загибелі та травмування людей;

в) у другій лінії можуть бути розміщені інші знімні кузови-контейнери та резервні автомобілі-носії;

г) у випадку розміщення ТЗ у підрозділі в три лінії, резервні автомобілі-носії та кузов-контейнер 4-го типу повинні розміщуватися в останній лінії.

Таким чином, розроблена методика забезпечує оптимальний розподіл технічних засобів у період їх часткового ТО і ремонту.

Висновки до п'ятого розділу

1. Розроблена методика визначення необхідних видів та чисельності БМАРК контейнерного типу включає виконання трьох процедур, а саме: розрахунок показника приведеної чисельності автомобілів на виклик, визначення чисельності автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів, перерозподіл автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів по підрозділах АРФ населеного пункту. Перед застосуванням розробленої методики необхідно спершу виконати два підготовчих етапи, а саме: проведення аналізу статистичних даних і перевірку умов застосування розробленої методики, а також визначення видів знімних кузовів-контейнерів. Ця методика дозволяє визначити види та чисельність БМАРК зі знімними кузовами-контейнерами для оснащення підрозділів АРФ населеного пункту з урахуванням специфіки оперативної обстановки, яка склалася в їх районах виїзду.

2. Розроблена методика забезпечує оптимальний розподіл технічних засобів у період їх часткового ТО і ремонту.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу в галузі цивільного захисту – удосконалено підхід до забезпечення аварійно-рятувальних формувань транспортними засобами шляхом їх оснащення багатофункціональними кузовами-контейнерами.

За підсумками виконаної наукової роботи зроблено наступні висновки.

1. Аналіз локальних надзвичайних ситуацій в розвинутих країнах світу і в країнах Євросоюзу показує, що для скорочення часу реагування рятувальних підрозділів використовуються як спеціальна і багатофункціональна техніка на одній автомобільній основі, так і багатофункціональні контейнери, які встановлюються на різні автомобільні основи.

2. Особливості реагування і ліквідації локальних надзвичайних ситуацій полягають у використанні, головним чином, спеціальних автомобілів «класичного компонування» і використанні спеціалізованих технічних засобів тільки в аварійно-рятувальних загонах спеціального призначення. Найбільш перспективним для України, з метою скорочення часу реагування на локальні надзвичайні ситуації, є шлях створення багатофункціональних кузовів-контейнерів і оснащення ними територіальних підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту.

3. Розроблено математичну модель оцінки часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації, яка являє собою систему із чотирьох залежностей. Перша залежність визначає час реагування як добуток коефіцієнта логічного показника на суму трьох часових інтервалів. Друга залежність визначає перший часовий інтервал як залежність часу реагування від дистанції й середньої швидкості прямування, а також коефіцієнта, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху вулично-дорожньою мережею на час прямування підрозділів аварійно-рятувальних формувань до місця виникнення локальної надзвичайної ситуації. Третя залежність визначає другий часовий інтервал, який є залежністю часу реагування від показників, які характеризують собою час,

затрачений підрозділами аварійно-рятувальних формувань на подолання перешкод, що спричинені фізико-географічними умовами, а також часу прямування сил та засобів з підрозділу аварійно-рятувального формування по вулично-дорожній мережі населеного пункту до найбільш територіально віддаленої точки, яка знаходиться на кордоні відповідного адміністративно-територіального району і відноситься до району обслуговування цього підрозділу. Четверта залежність визначає час приведення в оперативну готовність підрозділу аварійно-рятувального формування як суму часу диспетчеризації, часу збору і виїзду та часу оперативного розгортання. Оптимізація роботи аварійно-рятувального формування може здійснюватися шляхом пошуку мінімального значення часу реагування.

4. Розроблено функціональну схему лабораторної установки та комплекс апаратно-програмних засобів, які реалізують запропоновану математичну модель оцінки часу реагування на локальні надзвичайні ситуації аварійно-рятувальних формувань при використанні ними багатофункціональних кузовів-контейнерів та дозволяють перевірити її адекватність. Функціональна схема розробленої лабораторної установки складається з восьми блоків, що розміщені на восьми рівнях, пов'язаних послідовними та ієрархічними зв'язками. За результатами всіх етапів комплексного чисельного експерименту, які виконувалися на лабораторній установці відповідно до методики проведення чисельних експериментів, було отримано залежності, що були апроксимовані рівняннями лінійної регресії, коефіцієнти яких перевірялися за критерієм Стюдента з надійністю 0,95. Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера і забезпечує коефіцієнт кореляції не нижче 0,7, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі.

5. Розроблена методика визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу включає виконання трьох процедур, а саме: розрахунок показника приведеної чисельності автомобілів на виклик, визначення чисельності автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів, перерозподіл автомобілів-носіїв і знімних кузовів-контейнерів по підрозділах аварійно-рятувальних формувань населеного пункту.

Перед застосуванням розробленої методики необхідно спершу виконати два підготовчих етапи, а саме: проведення аналізу статистичних даних і перевірку умов застосування розробленої методики, а також визначення видів знімних кузовів-контейнерів. Описана методика дозволяє визначити види та чисельність багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів зі знімними кузовами-контейнерами для оснащення підрозділів аварійно-рятувальних формувань населеного пункту з урахуванням специфіки оперативної обстановки, яка склалася в їх районах виїзду, а також забезпечує оптимальний розподіл технічних засобів у період їх часткового технічного обслуговування і ремонту.

Основні результати дослідження були впроваджені в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту та ГУ ДСНС України у Харківській області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шматко О. В., Коваленко Р. И. Разработка программного блока, предназначенного для оптимизации размещения пожарных и аварийно-спасательных автомобилей в пожарно-спасательных подразделениях города Харькова. *Информационные технологии в управлении, образовании, науке и промышленности*: монография / ред. В. С. Пономаренко. Харьков: Издатель Рожко С. Г., 2016. Разд. 6. С. 85–98.
2. Ларін О. М. , Калиновський А. Я., Коваленко Р. І. Дослідження параметрів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів міста Харкова на сучасному етапі для розробки програмного блоку «ПРОГНОЗ НС». *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2015. № 62 (1171). С. 77–83.
3. Калиновський А. Я., Коваленко Р. І. Оцінювання можливого ефекту від оснащення пожежно-рятувальних підрозділів м. Харкова багатофункціональними мобільними пожежно-рятувальними комплексами контейнерного типу. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, 2017. Вып. 41. С. 74–80.
4. Калиновський А. Я., Коваленко Р. І., Березовський О. І. Розробка організаційної системи проведення технічного обслуговування аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу на прикладі ДПРЧ міста Харкова. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2017. Вип. 26. С. 56–62.
5. Коваленко Р. І. Дослідження основних статистичних закономірностей процесу функціонування державних пожежно-рятувальних частин міста Харкова. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, 2016. Вып. 39. С. 129–136.
6. Калиновський А. Я., Коваленко Р. І. Статистичне дослідження характеру небезпечних подій, які виникають в місті Харкові. *Комунальне господарство міст*. Харків, 2017. № 135. С. 159–166.
7. Коваленко Р. І. Розробка способу визначення необхідної кількості багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу для комплектування транспортних засобів аварійно-рятувальних формувань.

Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека. Київ, 2017. №2 (4). С. 40–46.

8. Калиновський А.Я., Коваленко Р. І. Розробка математичної моделі визначення часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації. *Пожежна безпека*. Львів, 2017. № 31. С. 43–48.

9. Коваленко Р. І. Розробка функціональної схеми лабораторної установки для оцінювання часу реагування на локальні надзвичайні ситуації. *Комунальне господарство міст*. Харків, 2018. № 140. С. 40–45.

10. Ларин А. Н., Калиновский А. Я., Коваленко Р. И. Проблемы использования геоинформационных технологий в пожарно-спасательных подразделениях Украины. *Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан*. Кокшетау, 2015. № 2 (18). С. 10–15.

11. Ларин А. Н., Калиновский А. Я., Коваленко Р. И. Анализ путей сокращения времени прибытия пожарно-спасательных подразделений на вызов. *Чрезвычайные ситуации: образование и наука*. Гомель, 2016. Т. 11. № 1. С. 88–94.

12. Ларін О. М., Калиновський А. Я., Коваленко Р. І. Перспективи впровадження пожежно-рятувальних автомобілів контейнерного типу в оперативну діяльність рятувальних підрозділів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: зб. наук. праць VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Вінниця, ВНТУ, 19–21 жовтня 2015 р. Вінниця, 2015. С. 93–96.*

13. Коваленко Р. И., Калиновский А. Я. Исследование основных причин и закономерностей возникновения чрезвычайных ситуаций в больших городах на примере города Харькова. *Казахстан в новой глобальной реальности: рост, реформы, развитие: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. научное обеспечение безопасной жизнедеятельности*. г. Кокшетау, КТИ КЧС МВД РК, 25 марта 2016 г. Кокшетау, 2016. С. 150–153.

14. Калиновський А. Я., Шматко О. В., Коваленко Р. І. Використання АСУ та геоінформаційних систем в оперативній діяльності пожежно-рятувальних підрозділів. *Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії: тези доповідей VIII*

Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, ХНЕУ ім. Сємена Кузнеця, 28–29 квітня 2016 р. Харків, 2016. С. 65.

15. Калиновський А. Я., Коваленко Р. І. Обґрунтування необхідних типів автомобілів контейнерного типу в державних пожежно-рятувальних підрозділах міста Харкова. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 19–20 травня 2016 р. Черкаси, 2016. С. 53–55.

16. Калиновський А. Я., Коваленко Р. І. Розробка механізму перерозподілу спеціальної техніки між пожежно-рятувальними підрозділами. *Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи*: зб. матеріалів наук.-практ. семінару, м. Харків, НУЦЗУ, 19 квітня 2017 р. Харків, 2017. С. 90–92.

17. Калиновський А. Я., Коваленко Р. І. Побудова концептуальної моделі функціонування транспортно-логістичної контейнерної системи постачання засобів та оснащення для проведення пожежогасіння та аварійно-рятувальних робіт. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 18–19 травня 2017 р. Черкаси, 2017. С. 41–42.

18. Коваленко Р. І. Розробка методичного підходу до визначення чисельності оперативних транспортних засобів при комплектуванні ними підрозділів аварійно-рятувальних формувань. *Пожежна безпека: проблеми та перспективи*: зб. тез доповідей Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Харків, НУЦЗУ, 1–2 березня 2018 р. Харків, 2018. С. 106–108.

19. Kovalenko R. I. Improvement of the method of determining the number and nomenclature of the park of cars in fire-related surfaces of the city at the example of the city of Kharkov. *East European Scientific Journal*. Warsaw, 2017. №9(25). Part 1. P. 48–56.

20. What is a Local Emergency? *Grand Traverse County Governmental Center*. URL: <http://www.grandtraverse.org/369/What-Is-a-Local-Emergency> (Last accessed: 05.01.2018).
21. McEntire D. A. Local Emergency Management Organizations. *Handbooks of Sociology and Social Research*. New York, 2007. P. 168-182.
22. Matheny E. M. A Survey of the Structural Determinants of Local Emergency Planning Committee Compliance and Proactivity. *Towards an Applied Theory of Precaution in Emergency Management*. Cleveland, 2012. URL: <http://engagedscholarship.csuohio.edu/etdarchive/195/> (Last accessed: 05.01.2018).
23. Lexicon of UK civil protection terminology – version 2.1.1. *Crown copyright*. 2013. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/emergency-responder-interoperability-lexicon> (Last accessed: 05.01.2018).
24. Italy – Disaster management structure. *European Commission*. URL: http://ec.europa.eu/echo/files/civil_protection/vademecum/it/2-it-1.html (Last accessed: 05.01.2018).
25. Ерошенко Н. Е. Расчет и экономическое обоснование норматива на услуги по ликвидации чрезвычайных ситуаций локального характера. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. Красноярск, 2010. № 6 (2). С. 27–28.
26. Устинов А. А. Современный подход к определению классификационных критериев чрезвычайных ситуаций. *Вестник Пермского университета*. Пермь, 2008. № 2 (2). С. 20–24.
27. Полковниченко Д. Ю. Класифікація надзвичайних ситуацій: державно-управлінський підхід. *Теорія та практика державного управління*. Харків, 2014. № 1 (44). С. 350–356.
28. Княжич О. О. Апроксимація складних функцій для опису розвитку локальної надзвичайної ситуації. *Математичні машини та системи*. Київ, 2016. № 1. С. 148–157.
29. Кодекс цивільного захисту України (зі змінами та доповненнями). Київ: Основа, 2016. 144 с.

30. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями: затв. постановою Каб. Міністрів України від 24 березня 2004 р. № 368. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/368-2004-%D0%BF> (дата звернення: 05.01.2018).

31. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні. URL: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini.html> (дата звернення: 05.01.2018).

32. World Fire Statistics / N. N. Brushlinsky et. al. 2017. № 22. 56 p. URL: http://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report22_world_fire_statistics_2017.pdf (Last accessed: 05.01.2018).

33. Ляховец Т. Л., Собакин Ф. С., Прокопенкова А. В., Котосонов А. С. Организация управления в чрезвычайных ситуациях в США. *Технологии гражданской безопасности*. Москва, 2010. Т. 7. № 1–2. С. 125–131.

34. Bullock J. A., Haddow G. D., Coppola D. P. 9-All-Hazards Emergency Response and Recovery. *Homeland Security (Second Edition)*. 2018. P. 227-290. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128044650000091> (Last accessed: 05.01.2018).

35. National Response Framework. *Homeland Security*. URL: https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1914-25045-1246/final_national_response_framework_20130501.pdf (Last accessed: 05.01.2018).

36. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара. *Пожаровзрывобезопасность*. Москва, 2011. № 9. С. 42–48.

37. Kolesar P. J., Walker W. E. An Algorithm for the Dynamic Relocation of Fire Companies. *Operations Research*. 1974. Vol. 22, Issue 2. P. 249–274.

38. City of Brooklyn. Fire Department. URL: <http://www.brooklynohio.gov/en-US/fire-department.aspx> (Last accessed: 05.01.2018).

39. City of Orlando. ISO and Accreditation. URL: <http://www.cityoforlando.net/fire/accreditation/> (Last accessed: 05.01.2018).

40. City of Dalton. Fire Department. URL: http://www.cityofdaltonga.gov/index.asp?SEC=276BA13F-BE8D-4E0E-9B86-2C58673B75AC&Type=B_BASIC (Last accessed: 05.01.2018).

41. Requirements for West Virginia Fire Departments. West Virginia State Fire Commission. URL: <http://www.firemarshal.wv.gov/Documents/Multimedia/State%20Fire%20Commission%20-%20%20Requirements%20for%20WV%20Fire%20Departments%20102214.pdf> (Last accessed: 05.01.2018).

42. Fire Suppression Rating Schedule (FSRS) Overview. *ISO Mitigation. Working Together for Safer Communities*. URL: <https://www.isomitigation.com/fsrs/fire-suppression-rating-schedule-fsrs-overview.html> (Last accessed: 05.01.2018).

43. NFPA 610: Guide for Emergency and Safety Operations at Motorsports Venues, 2014 Edition. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=610> (Last accessed: 05.01.2018).

44. NFPA 1670: Standard on Operations and Training for Technical Search and Rescue Incidents, 2017 Edition. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1670> (Last accessed: 05.01.2018).

45. NFPA 1710: Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments, 2016 Edition. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1710> (Last accessed: 05.01.2018).

46. NFPA 1720: Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Volunteer Fire Departments, 2014 Edition. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1720> (Last accessed: 05.01.2018).

47. NFPA 1561: Standard for Emergency Services Incident Management System and Command Safety, 2014 Edition. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1561> (Last accessed: 05.01.2018).

48. Green L. V., Kolesar P. J. Anniversary article: Improving Emergency Responsiveness with Management Science. *Science Management*. 2004. Vol. 50, Issue 8. P. 1001–1014. URL: <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.1040.0253> (Last accessed: 05.01.2018).

49. Virrantaus K., Luokkala P. Developing information systems to support situational awareness and interaction in time-pressuring crisis situations. *Safety Science*. 2014. Vol. 63. P. 191–203. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.11.014> (Last accessed: 05.01.2018).

50. Liu Y., Fan Z-P., Yuan Y., Li H. FTA-based method for risk decision-making in emergency response. *Computers & Operations Research*. 2014. Vol. 42. P. 49–57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.08.015> (Last accessed: 05.01.2018).

51. Lei Z., Wu X., Xu Z., Fujita H. Emergency decision making for natural disasters: An overview. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2017. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.09.037> (Last accessed: 05.01.2018).

52. Romanowski C., Rajendra R., Schneider J., Mishra S., Shivshankar V., Ayengar S., Cueva F. Regional response to large-scale emergency events: Building on historical data. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. 2015. Vol. 11. P. 12–21. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2015.07.003> (Last accessed: 05.01.2018).

53. Warren T. N. Decision Making in the Fire Service. *Fire Engineering*. 2013. URL: <http://www.fireengineering.com/articles/2013/08/decision-making-in-the-fire-service.html> (Last accessed: 05.01.2018).

54. Initial Attack GIS Supports IC Decision Making. *Esri*. URL: <http://www.esri.com/news/arcuser/0703/initial2of2.html> (Last accessed: 05.01.2018).

55. Yin. J., Yu D., Lin N., Wilby R. L. Evaluating the cascading impacts of sea level rise and coastal flooding on emergency response spatial accessibility in Lower Manhattan, New York City. *Journal of Hydrology*. 2017. Vol. 555. P. 648–658. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.067> (Last accessed: 05.01.2018).

56. Swersey A. J. A Markovian Decision Model for Deciding How Many Fire Companies to Dispatch. *Management Science*. 1982. № 28 (4). P. 352–365. URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.28.4.352> (Last accessed: 05.01.2018).

57. Martinette C. V. Trench Rescue: Awareness, Operations, Technician, Second Edition. Sudbury: Jones and Bartlett Publishers, 2007. P. 26.

58. Demountable Container Systems for Emergency Services. *Fire Apparatus & Emergency Equipment*. URL: <http://www.fireapparatusmagazine.com/articles/print/volume-20/issue-4/features/demountable-container-systems-for-emergency-services.html> (Last accessed: 05.01.2018).

59. Pod System for technical rescue trucks. *Fire Engineering*. URL: <http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-156/issue-12/departments/technology-today/pod-system-for-technical-rescue-trucks.html> (Last accessed: 05.01.2018).

60. Technical Rescue Development Manual. URL: <https://issuu.com/ebarwong/docs/fa-159> (Last accessed: 05.01.2018).

61. Avsec R. 5 reasons to consider a modular fire truck. *Fire Rescue*. URL: <https://www.firerescue1.com/fire-products/fire-apparatus/articles/1934433-5-reasons-to-consider-a-modular-fire-truck/> (Last accessed: 05.01.2018).

62. Interchangeable Pods: brochure. *Advanced Containment Systems, Inc.* URL: <http://www.acsi-us.com/products/decon-products/v-pods/interchangeable-pods.html#!vpod8> (Last accessed: 05.01.2018).

63. Lattimer B. Y. Robotics in Firefighting. *Digital newsletter «Emerging Trends»*. 2015. Issue 100. URL: http://www.sfpe.org/?page=FPE_ET_Issue_100 (Last accessed: 05.01.2018).

64. McEntire D. A. Emergency Management in the United States: Disasters Experienced, Lessons Learned, and Recommendations for the Future. URL: https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwils5ax_qLYAhVhIJoKHUrGDRoQFggwMAA&url=https%3A%2F%2Ftraining.fema.gov%2Fhiedu%2Fdownloads%2Fcompemmgmtbookproject%2Fcomparative%2520em%2520book%2520-%2520chapter%2520-

%2520emergency%2520management%2520in%2520the%2520united%2520states%2520-%2520disasters%2520experience.doc&usg=AOvVaw3bpsaXUAJHbjWkVTd_ASnL
(Last accessed: 05.01.2018).

65. Responding to Emergency Events. *Public Safety Canada*. URL: <https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/rspndng-mrgnc-vnts/index-en.aspx>
(Last accessed: 05.01.2018).

66. Raikes J., McBean G. Responsibility and liability in emergency management to natural disasters: A Canadian example. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2016. Vol. 16. P. 12–18. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.01.004> (Last accessed: 05.01.2018).

67. Ali S-N., Asgary A. Modeling number of firefighters responding to an incident using artificial neural networks. *International Journal of Emergency Services*. 2013. Vol. 2, Issue 2. P. 104–118. URL: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/IJES-03-2012-0001> (Last accessed: 05.01.2018).

68. Бренич Я. В., Тимошук П. В. Нейромережеві методи розв'язання задачі класифікації. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів, 2012. Вип. 22.13. С. 343–349.

69. Nazarov E. Emergency Response Management in Japan. Final Research Report. URL: http://www.adrc.asia/aboutus/vrdata/finalreport/2011A_AZE_Emin_FRR.pdf (Last accessed: 05.01.2018).

70. Toshinori O. Disaster Management in Japan. *Japan Medical Association Journal*. 2016. № 59 (1). P. 27–30. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5059167/#> (Last accessed: 05.01.2018).

71. Tokyo Fire Department. URL: http://www.tfd.metro.tokyo.jp/ts/soubi/car/06_10.htm (Last accessed: 05.01.2018).

72. 資材搬送車 (S T). URL: <http://tfd119.com/a/g/st.htm> (治療の日付: 05.01.2018).

73. Les services d'incendie et de secours. URL: https://www.senat.fr/lc/lc85/lc85_mono.html (date du traitement: 05.01.2018).

74. Pieter L. van den Berg, Guido A. G. Legemaate, Rob D. van der Mei. Increasing the Responsiveness of Firefighter Services by Relocating Base Stations in Amsterdam. *INFORMS PubsOnLine*. 2017. P. 352-361. URL: <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/inte.2017.0897> (Last accessed: 05.01.2018).

75. LOI n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile (1). URL: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000804612&dateTexte=20040817> (date du traitement: 05.01.2018).

76. Missions des sapeurs-pompiers. *Sapeurs-Pompiers*. URL: <https://www.pompiers.fr/pompiers/nous-connaître/missions-des-sapeurs-pompiers> (date du traitement: 05.01.2018).

77. Véhicules et matériels. *Site officiel des sapeurs-pompiers du Territoire de Belfort*. URL: <http://www.pompiers90.fr/1-139-Vehicules-et-materiels.php> (date du traitement: 05.01.2018).

78. Integrovaný záchranný systém. URL: <http://www.hzscr.cz/clanek/integrovaný-zachranny-system.aspx> (datum léčby: 05.01.2018).

79. Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. *Zákony pro lidi*. URL: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239> (datum léčby: 05.01.2018).

80. Hasiči prošli výcvikem se systémem dálkové dopravy vody Somati, s nákupem zařízení pomohla Evropská unie. URL: <https://www.pozary.cz/clanek/134105-hasici-prosli-vycvikem-se-systemem-dalkove-dopravy-vody-somati-s-nakupem-zarizeni-pomohla-evropska-unie/> (datum léčby: 05.01.2018).

81. Požární stanice Plzeň – Slovany. URL: <http://www.hzscr.cz/clanek/pozarni-stanice-plzen-slovany.aspx> (datum léčby: 05.01.2018).

82. Požární stanice Tachov. URL: <http://www.hzscr.cz/clanek/pozarni-stanice-tachov.aspx> (datum léčby: 05.01.2018).

83. Пожарные Германии. Пожарная охрана Германии. *Клуб пожарных и спасателей*. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/pozharnye-germanii-pozharnaya-okhrana-germanii/> (дата обращения: 05.01.2018).

84. Connolly M. Emergency Management in the Federal Republic of Germany: Preserving its Critical Infrastructures from Hazardous Natural Events and Terrorist Acts. URL: <https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwicvfWe56XYAhWIKJoKHU7oDvcQFghDMAM&url=https%3A%2F%2Ftraining.fema.gov%2Fhiedu%2Fdownloads%2Fcompemgmtbookproject%2Fcomparative%2520em%2520book%2520-%2520chapter%2520-%2520em%2520in%2520the%2520federal%2520republic%2520of%2520germany.docx&usg=AOvVaw0jUgksyhzghiZUPGjl9LEX> (Last accessed: 05.01.2018).

85. Innovative Container-Lösungen von GREIS für den mobilen Einsatz im Katastrophen- und Bevölkerungsschutz. *Lectura Press*. URL: <https://press.lectura.de/de/article/innovative-container-loesungen-von-greis-fuer-den-mobilen-einsatz-im-katastrophen-und-bevoelkerungsschutz/13161> (Referenzdatum: 05.01.2018).

86. Компанія «GREIS» (офіційний сайт виробника). URL: <http://gruppe-henrich.de/greis/beispiel-seite/produkte/produkt-kategorie/sonderbehaelter-2/> (дата звернення: 05.01.2018).

87. Weich A. Wasserförderung über lange Wegstrecke im deutschen Feuerwehrwesen. Vergleich und Bewertung verschiedener Systeme: Projektarbeit. Düsseldorf, 2014. 60 S.

88. Knorr K-H. Reform des Zivil- und Katastrophenschutzes in Deutschland. *BRANDSchutz Deutsche Feuerwehr-Zeitung*. Stuttgart, 2002. № 11. S. 946–964.

89. Fischer K. Die Fahrzeuge der Feuerwehr. Fränkisch-Crumbach: Edition XXL, 2005. 420 S.

90. Feuerwehr Hamburg. Jahresbericht 2006. Hamburg: Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Inneres Feuerwehr, 2007. 32 S.

91. Abrollbehälter Feuerwehr. *BOS-Fahrzeuge.info*. URL: https://bos-fahrzeuge.info/einsatzfahrzeuge/profi-suche/group_id/1/classification_id/2 (Referenzdatum: 05.01.2018).

92. H. de Vries, Weich A. Wasserförderung über lange Wegstrecke. Taktik und Technik. Landsberg: ecomed-Storck GmbH, 2004. 372 S.

93. Heinze D., Müller S. Islamistische Terrorlagen – Gefahren und einsatztaktisches Vorgehen. *Retten!.* New York, 2017. № 6 (5). S. 382–394.

94. Consolidation Act no. 660 of 10 June 2009. Applicable. *Danish Emergency Management Agency*. URL: http://brs.dk/eng/legislation/act/pages/the_emergency_management_act.aspx#Part1 (behandlingsdato: 05.01.2018).

95. Компанія «Falck» (офіційний сайт). URL: <http://www.falck.com/en/services/> (дата звернення: 05.01.2018).

96. Ny struktur for brandvæsener er trådt i kraft. *Danish Emergency Management Agency*. URL: http://brs.dk/omstyrelsen/presse/nyheder/Pages/2016_01_07_ny-struktur-for-brandvaesener-er-traadt-i-kraft.aspx (behandlingsdato: 05.01.2018).

97. Statistics and analysis. The Swedish Rescue Services in Figures. *Swedish Civil Contingencies Agency*. URL: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/25586.pdf> (Last accessed: 05.01.2018).

98. Government Bill 2002/03:119. Reformed rescue services legislation. *Swedish Civil Contingencies Agency*. URL: https://www.msb.se/Upload/Om%20MSB/Lag_och_ratt/Civil%20Protection%20Act%20101227.pdf?epslanguage=en (Last accessed: 05.01.2018).

99. Fire Departments in Stockholm. URL: <http://www.brandforsvar.se/eng/esthlm.htm> (Last accessed: 05.01.2018).

100. Civil Contingencies Act 2004: a short guide (revised). *Civil Contingencies Secretariat*. URL: <https://web.archive.org/web/20070606230917/http://www.ukresilience.info/upload/assets/www.ukresilience.info/15mayshortguide.pdf> (Last accessed: 05.01.2018).

101. Ashley S. F., Vaughan G. J., Nuttall W. J., Thomas P. J. Considerations in relation to off-site emergency procedures and response for nuclear accidents. *Process Safety and Environmental Protection*. 2017. Vol. 112, Part A. P. 77–95. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017302860> (Last accessed: 05.01.2018).

102. Emergency Response. *Merseyside Fire & Rescue Service*. URL: <http://www.merseyfire.gov.uk/asp/pages/IRMP/IRMP/emergency.htm> (Last accessed: 05.01.2018).

103. Mardon R. New Dimension high volume pumping units. URL: <http://www.romar.org.uk/page131.html> (Last accessed: 05.01.2018).

104. Der Österreichische Bundesfeuerwehrverband. URL: <https://www.bundesfeuerwehrverband.at/> (Referenzdatum: 05.01.2018).

105. Landesrecht konsolidiert Oberösterreich: Gesamte Rechtsvorschrift für Oö. Katastrophenschutzgesetz, Fassung vom 05.01.2018. *Bundeskanzleramt Österreich*. URL: <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LROO&Gesetzesnummer=20000459> (Referenzdatum: 05.01.2018).

106. Landesrecht konsolidiert Steiermark: Gesamte Rechtsvorschrift für Steiermärkisches Katastrophenschutzgesetz, Fassung vom 05.01.2018. *Bundeskanzleramt Österreich*. URL: <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrStmk&Gesetzesnummer=20000308> (Referenzdatum: 05.01.2018).

107. Zivil- und Katastrophenschutz Land Tirol. URL: <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/katziv/katschutz/> (Referenzdatum: 05.01.2018).

108. Bilaterale Katastrophenhilfeabkommen. *Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe*. URL: https://www.bbk.bund.de/DE/Service/Fachinformationsstelle/RechtundVorschriften/Rechtsgrundlagen/Katastrophenhilfeabkommen/katastrophenhilfeabkommen_node.html (Referenzdatum: 05.01.2018).

109. Wechselladerfahrzeug der Gemeindeführung vorgestellt. *Freiwillige Feuerwehr der Stadt Wörgl*. URL: <http://feuerwehr.woergl.at/cms/aktuelles/news/news-2013/238-wechselladerfahrzeug-der-gemeindefuehrung-vorgestellt> (Referenzdatum: 05.01.2018).

110. WLFA-K. Wechselladefahrzeug mit Allradantrieb und Kran. *Feuerwehr der Stadt Retz*. URL: <https://www.feuerwehr-retz.at/wechselladerfahrzeug-mit-kran.html> (Referenzdatum: 05.01.2018).

111. Компанія «Bruns» (офіційний сайт виробника). URL: http://www.bruns-umwelttechnik.de/suche/?con_cat=50&con_lang=1&searchterm=feuerwehr&search.x=0&search.y=0&search=Suche (дата звернення: 05.01.2018).

112. Компанія «Ziegler» (офіційний сайт виробника). URL: <https://www.ziegler.de/de/produkte/abrollbehaelter> (дата звернення: 05.01.2018).

113. Компанія «Hensel Fahrzeugbau GmbH & Co.KG» (офіційний сайт виробника). URL: <http://www.hensel-fahrzeugbau.de/abrollbehaelter/> (дата звернення: 05.01.2018).

114. Gimaex. Die Spezialisten für Feuerwehr- und Umwelttechnik. URL: <https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiTvoOpravYAhUEG5oKHUzlBYYQFggvMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.gimaex.com%2Fdownload%2Fdownload.php%3Ffile%3D%2Fdownload%2F6100%2FDE%2F271.pdf%26name%3DDie%2520Spezialisten%2520f%25FCr%2520Feuerwehr-und%2520Umwelttechnik.pdf&usg=AOvVaw3TkIh5b8-JMi1IqqGppSpy> (Referenzdatum: 05.01.2018).

115. Компанія «THT» (офіційний сайт виробника). URL: <http://www.tht.cz/en/fire-containers/fire-containers> (дата звернення: 05.01.2018).

116. Компанія «HFS» (офіційний сайт виробника). URL: <http://hytransfiresystem.com/products.html> (дата звернення: 05.01.2018).

117. Компанія «Rosenbauer» (офіційний сайт виробника). URL: <http://hytransfiresystem.com/products.html> (дата звернення: 05.01.2018).

118. DIN EN 1846-3:2013-11 Feuerwehrfahrzeuge – Teil 3: Fest eingebaute Ausrüstung - Sicherheits- und Leistungsanforderungen. *Beuth publishing DIN*. URL: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-1846-3/170504350> (Referenzdatum: 05.01.2018).

119. DIN 14505:2015-01 Feuerwehrfahrzeuge – Wechselladerfahrzeuge mit Abrollbehältern – Ergänzende Anforderungen zu DIN EN 1846-3. *Beuth publishing DIN*. URL: <https://www.beuth.de/de/norm/din-14505/224359101> (Referenzdatum: 05.01.2018).

120. DIN 14555-22:2013-05 Rüstwagen und Gerätewagen – Teil 22: Gerätewagen Logistik GW-L2. *Beuth publishing DIN*. URL: <https://www.beuth.de/de/norm/din-14555-22/171963304> (Referenzdatum: 05.01.2018).

121. Табель термінових та строкових донесень з питань цивільного захисту: затв. Наказом ДСНС України від 11.10.2014 р. № 578. Київ, 2014. 225 с.

122. Белан С. В. Разработка методов совершенствования системы транспортного обеспечения пожаротушения крупнейших городов: дис. на соиск. уч. степени канд. тех. наук: 05.26.03 / Харьковский институт пожарной безопасности. Харьков, 1998. 171 с.

123. Брушлинский Н. Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы: учебник. Москва: МИПБ МВД России, 1998. 255 с.

124. Розробка рекомендацій по визначенню граничної штатної чисельності та кількості оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС України («Штатна чисельність»): звіт про НДР / ДСНС, кер.: Соболев О. М., вик.: Рогозін А. С., Альбоцій О. В. та ін. Харків, 2015. 243 с. (№ ДР 0114U002246).

125. Войтович Д. П. Підвищення ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожеж у містах: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 21.06.02 / Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. Львів, 2011. 284 с.

126. Клишкин В. И. Совершенствование организации и управления оперативной деятельностью пожарных подразделений города Москвы на основе применения технологий имитационного моделирования: дис. на соискания уч. степени канд. тех. наук: 05.13.10 / Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. Москва, 2005. 141 с.

127. Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій: розпорядження Каб. Міністрів України від 25 січня 2017 р. № 61-р. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80> (дата звернення: 05.01.2018).

128. Настанова з експлуатації транспортних засобів в органах та підрозділах ДСНС України: затв. Наказом ДСНС України від 27.06.2013 р. № 432. URL: http://www.mns.gov.ua/files/2013/7/3/432_nast.pdf (дата звернення: 05.01.2018).

129. Норми табельної належності, витрат і термінів експлуатації пожежно-рятувального, технологічного і гаражного обладнання, інструменту, індивідуального озброєння та спорядження, ремонтно-експлуатаційних матеріалів підрозділів ДСНС України: затв. Наказом ДСНС України від 29 травня 2013 р. № 358. URL: http://otipb.at.ua/load/normi_tabelnoji_nalezhnosti_vitrat_i_terminiv_ekspluataciji_pozhezhno_rjatuvalnogo_tekhnologichnogo_i_garazhnogo_obladnannja_instrumentu/23-1-0-3770 (дата звернення: 05.01.2018).

130. Настанова про аварійно-рятувальні машини та плавзасоби спеціального призначення ДСНС України: затв. Наказом ДСНС України від 22 квітня 2014 р. № 184. URL: <http://www.dsns.gov.ua/files/2013/5/7/nastanova.doc> (дата звернення: 05.01.2018).

131. ДБН 360-92** Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: затв. Наказом Держкоммістобудування від 17.04.1992 р. № 44. URL: http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/dbn_360_92_ua/1-1-0-116 (дата звернення: 05.01.2018).

132. Стерлигова А. Н. Управление запасами в цепях поставок: учебник. Москва: ИНФРА-М, 2008. 430 с.

133. Математичні підходи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру / М. М. Дівізінюк, О. Є. Попов, В. Е. Ковач [та ін.] // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. 2015. № 30. С. 25–30.

134. Кремлев А. Г. Математика. Раздел «Статистика»: учеб. пособ. Екатеринбург: УрГЮА, 2001. 140 с.

135. Мандель И. Д. Кластерный анализ: учеб. пособие. Москва: Финансы и статистика, 1988. 176 с.

136. Паниотто В. И. Качество социологической информации: учебник. Киев: Наукова думка, 1986. 206 с.

137. Безлюбченко О. С., Гордієнко С. М., Завальний О. В. Планування міст і транспорт: навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2006. 138 с.

138. Красавин А. В. Нормирование основных ресурсов подразделений муниципальной пожарно-спасательной службы: дис. на соискания уч. степени канд. тех. наук: 05.13.10 / Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. Москва, 2005. 220 с.

139. Мовчан І. О. Забезпечення ліквідації пожежі на промислових підприємствах з урахуванням надійності пожежної техніки та устаткування: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 21.06.02 / Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. Львів, 2007. 259 с.

140. Баженов Ю. В. Основы теории надежности машин: учеб. пособ. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. 160 с.

141. Про затвердження Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту: затв. Наказом Міністерства транспорту України від 30.03.1998 р. № 102. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98> (дата звернення: 05.01.2018).

142. Advanced Analytics Tools for Excel and the Cloud. *Frontline Solvers*. URL: <https://www.solver.com> (Last accessed: 05.01.2018).

143. Зайцев М. Г., Варюхин С. Е. Методы оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы: учебное пособие. Изд. 2-е. испр. Москва: Изд-во «Дело» АНХ, 2008. 664 с.

ДОДАТОК А

Список публікацій за темою дисертації

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії:

1. Шматко О. В., **Коваленко Р. И.** Разработка программного блока, предназначенного для оптимизации размещения пожарных и аварийно-спасательных автомобилей в пожарно-спасательных подразделениях города Харькова. *Информационные технологии в управлении, образовании, науке и промышленности*: монография / ред. В. С. Пономаренко. Харьков: Издатель Рожко С. Г., 2016. Разд. 6. С. 85–98.

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, розробка другого варіанта цільової функції оптимального розміщення оперативних транспортних засобів по підрозділах аварійно-рятувальних формувань, проведення розрахунків та аналіз отриманих результатів.

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

2. Ларін О. М., Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Дослідження параметрів функціонування пожежно-рятувальних підрозділів міста Харкова на сучасному етапі для розробки програмного блоку «ПРОГНОЗ НС». *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2015. № 62 (1171). С. 77–83. (Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus та Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу процесу оперативного функціонування аварійно-рятувальних формувань міста Харкова.

3. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Оцінювання можливого ефекту від оснащення пожежно-рятувальних підрозділів м. Харкова багатофункціональними мобільними пожежно-рятувальними комплексами контейнерного типу. *Проблемы пожарной безопасности*. Харьков, 2017. Вып. 41. С. 74–80. (Стаття у науковому

фаховому виданні України, включеному до міжнародної наукометричної бази Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати оцінки можливого ефекту від оснащення аварійно-рятувальних формувань автомобілями-носіями зі знімними кузовами-контейнерами.

4. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.**, Березовський О. І. Розробка організаційної системи проведення технічного обслуговування аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу на прикладі ДПРЧ міста Харкова. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків, 2017. Вип. 26. С. 56–62. (Стаття у науковому фаховому виданні України, включеному до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus та Ulrich's Periodicals).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, запропоноване обґрунтування системи проведення технічного обслуговування автомобілів-носіїв при обмеженій чисельності резерву оперативних транспортних засобів у підрозділах.

Статті у наукових фахових виданнях України:

5. **Коваленко Р. І.** Дослідження основних статистичних закономірностей процесу функціонування державних пожежно-рятувальних частин міста Харкова. *Проблеми пожарной безопасности*. Харьков, 2016. Вып. 39. С. 129–136. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу процесу оперативного функціонування аварійно-рятувальних формувань міста Харкова, а також результати перевірки статистичних гіпотез про пуассонівський характер потоку викликів, який надходить до підрозділів.

6. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Статистичне дослідження характеру небезпечних подій, які виникають в місті Харкові. *Комунальне господарство міст*. Харків, 2017. № 135. С. 159–166. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу процесу оперативного функціонування аварійно-рятувальних формувань міста Харкова, а також результати перевірки статистичних гіпотез про пуассонівський характер потоку викликів, який надходить до підрозділів.

7. **Коваленко Р. І.** Розробка способу визначення необхідної кількості багатofункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу для комплектування транспортних засобів аварійно-рятувальних формувань. *Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека*. Київ, 2017. №2 (4). С. 40–46. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

8. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Розробка математичної моделі визначення часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації. *Пожежна безпека*. Львів, 2017. № 31. С. 43–48. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, а також розроблена математична модель визначення часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації.

9. **Коваленко Р. І.** Розробка функціональної схеми лабораторної установки для оцінювання часу реагування на локальні надзвичайні ситуації. *Комунальне господарство міст*. Харків, 2018. № 140. С. 40–45. (Стаття у науковому фаховому виданні України).

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

10. Ларин А. Н., Калиновский А. Я., **Коваленко Р. И.** Проблемы использования геоинформационных технологий в пожарно-спасательных

подразделениях Украины. *Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан*. Кокшетау, 2015. № 2 (18). С. 10–15. (Стаття у закордонному науковому виданні за фахом).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу відомих геоінформаційних систем, які використовуються у діяльності аварійно-рятувальних формувань.

11. Ларин А. Н., Калиновский А. Я., **Коваленко Р. И.** Анализ путей сокращения времени прибытия пожарно-спасательных подразделений на вызов. *Чрезвычайные ситуации: образование и наука*. Гомель, 2016. Т. 11. № 1. С. 88–94. (Стаття у закордонному науковому виданні за фахом).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, аналіз останніх досліджень і публікацій, результати аналізу шляхів скорочення часу прямування сил та засобів від місця постійної дислокації до місця ліквідації локальних надзвичайних ситуацій.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

12. Ларін О. М., Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Перспективи впровадження пожежно-рятувальних автомобілів контейнерного типу в оперативну діяльність рятувальних підрозділів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: зб. наук. праць VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Вінниця, ВНТУ, 19–21 жовтня 2015 р. Вінниця, 2015. С. 93–96. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також результати аналізу основних переваг багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу в порівнянні з пожежно-рятувальними автомобілями «класичного компонування».

13. **Коваленко Р. И.**, Калиновский А. Я. Исследование основных причин и закономерностей возникновения чрезвычайных ситуаций в больших городах на

примере города Харькова. *Казахстан в новой глобальной реальности: рост, реформы, развитие*: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. научное обеспечение безопасной жизнедеятельности. г. Кокшетау, КТИ КЧС МВД РК, 25 марта 2016 г. Кокшетау, 2016. С. 150–153. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також результати досліджень ступеня впливу чинників, які впливають на чисельність локальних надзвичайних ситуацій, що виникають на території населених пунктів.

14. Калиновський А. Я., Шматко О. В., **Коваленко Р. І.** Використання АСУ та геоінформаційних систем в оперативній діяльності пожежно-рятувальних підрозділів. *Проблеми та перспективи розвитку IT-індустрії*: тези доповідей VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, ХНЕУ ім. Сємена Кузнеця, 28–29 квітня 2016 р. Харків, 2016. С. 65. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також результати аналізу відомих геоінформаційних систем, які використовуються у діяльності аварійно-рятувальних формувань.

15. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Обґрунтування необхідних типів автомобілів контейнерного типу в державних пожежно-рятувальних підрозділах міста Харкова. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*: матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 19–20 травня 2016 р. Черкаси, 2016. С. 53–55. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також запропоноване обґрунтування видів знімних кузовів-контейнерів для підрозділів аварійно-рятувальних формувань міста Харкова.

16. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Розробка механізму перерозподілу спеціальної техніки між пожежно-рятувальними підрозділами. *Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи*: зб. матеріалів наук.-практ. семінару, м. Харків, НУЦЗУ, 19 квітня 2017 р. Харків, 2017. С. 90–92. (Форма участі – очна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також розроблена цільова функція перерозподілу оперативних транспортних засобів по підрозділах аварійно-рятувальних формувань з урахуванням специфіки потоку викликів, який до них надходить.

17. Калиновський А. Я., **Коваленко Р. І.** Побудова концептуальної моделі функціонування транспортно-логістичної контейнерної системи постачання засобів та оснащення для проведення пожежогасіння та аварійно-рятувальних робіт. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, 18–19 травня 2017 р. Черкаси, 2017. С. 41–42. (Форма участі – заочна).

Здобувачу особисто належить постановка задачі, а також запропонована організаційно-логічна схема контейнерної доставки спеціального оснащення та засобів пожежогасіння до місць проведення оперативних робіт.

18. **Коваленко Р. І.** Розробка методичного підходу до визначення чисельності оперативних транспортних засобів при комплектуванні ними підрозділів аварійно-рятувальних формувань. *Пожежна безпека: проблеми та перспективи*: зб. тез доповідей Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Харків, НУЦЗУ, 1–2 березня 2018 р. Харків, 2018. С. 106–108. (Форма участі – очна).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

19. **Kovalenko R. I.** Improvement of the method of determining the number and nomenclature of the park of cars in fire-related surfaces of the city at the example of the city of Kharkov. *East European Scientific Journal*. Warsaw, 2017. №9(25). Part 1. P. 48–56.

ДОДАТОК Б

Акти впровадження результатів досліджень

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник УкрНДІЦЗ
канд. техн. наук
В.С.Кропивницький
"8" лютого 2017 р.

АКТ
впровадження результатів дисертаційної роботи
Коваленка Романа Івановича

Комісія в складі: голови – заступника начальника Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (УкрНДІЦЗ) канд. техн. наук Бориса О.П. та членів комісії: начальника науково-випробувального центру УкрНДІЦЗ Скоробагатька Т.М., начальника відділу вогнезахисту та пожежогасіння науково-випробувального центру УкрНДІЦЗ та начальника науково-організаційного відділу УкрНДІЦЗ канд. техн. наук, ст. наук. співроб. Запольського Л.Л., склали цей акт, яким підтверджується впровадження результатів дисертаційної роботи Коваленка Р.І. в УкрНДІЦЗ.

УкрНДІЦЗ є головною науковою установою, що виконує розробку, аналіз та впровадження науково-практичних результатів у галузі пожежної безпеки та цивільного захисту. З цих позицій робота Коваленка Р.І. становить науковий інтерес, оскільки в ній вирішені актуальні задачі щодо застосування багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу.

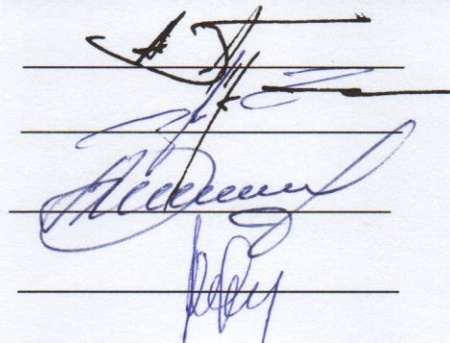
В УкрНДІЦЗ впроваджено для практичного використання результати дисертаційної роботи Коваленка Романа Івановича, зокрема:

- методику визначення необхідних видів та чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу, яка дозволяє встановити потребу аварійно-рятувальних формувань у даному виді техніки з урахуванням оперативно-тактичної обстановки в їх районах виїзду;
- механізм перерозподілу засобів та оснащення для проведення пожежогасіння та аварійно-рятувальних робіт між підрозділами, які відносяться до аварійно-рятувальних формувань в межах окремого населеного пункту.

Використання результатів дисертаційної роботи дає можливість скорочення чисельності пожежно-рятувальних автомобілів, якими оснащені підрозділи на 6% та скорочення часу прямування їх до місця виклику в окремих випадках майже на 60%.

Голова комісії

Члени комісії:



О.П. Борис

Т.М.Скоробагатько

В.В. Присяжнюк

Л.Л. Запольський

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник ГУ ДСНС України
у Харківській області

О.В. Волобуєв

2018 року



Акт

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Коваленка Романа Івановича

Комісія у складі: голови – начальника управління реагування на надзвичайні ситуації Головного управління ДСНС України у Харківській області полковника служби цивільного захисту Туніка Є.А. та членів комісії: начальника відділу організації пожежогасіння та роботи з об'єктовими підрозділами управління реагування на надзвичайні ситуації Головного управління ДСНС України у Харківській області підполковника служби цивільного захисту Малежика О.В., провідного фахівця відділу технічного забезпечення управління ресурсного забезпечення Головного управління ДСНС України у Харківській області Попруженка В.В., склала цей акт, яким підтверджується впровадження результатів дисертаційної роботи Коваленка Р.І. в ГУ ДСНС України у Харківській області.

ГУ ДСНС України у Харківській області є територіальним органом Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Харківській області, уповноваженим на забезпечення реалізації державної політики у сферах цивільного захисту, захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій та запобігання їх виникненню, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, рятувальної справи, гасіння пожеж, пожежної та техногенної безпеки, діяльності аварійно-рятувальних служб. Одним із напрямків діяльності ГУ ДСНС України у Харківській області є взяття участі у проведенні прикладних науково-дослідних робіт та розробці галузевих стандартів з

питань, що належать до компетенції ДСНС України, а тому робота Коваленка Р.І. становить практичну цінність тому, що в ній вирішуються задачі наукового обґрунтування особливостей застосування та комплектування підрозділів аварійно-рятувальних формувань багатофункціональними мобільними аварійно-рятувальними комплексами контейнерного типу.

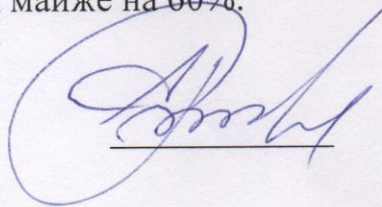
В ГУ ДСНС України у Харківській області впроваджено для практичного використання результати дисертаційної роботи Коваленка Романа Івановича, зокрема:

1) рекомендації щодо особливостей розміщення та методику визначення необхідних видів і чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу, яка дозволяє встановити потребу аварійно-рятувальних формувань у даному виді техніки з урахуванням оперативно-тактичної обстановки в районах їх виїзду;

2) механізм перерозподілу засобів та оснащення для проведення пожежогасіння та аварійно-рятувальних робіт між підрозділами, які відносяться до аварійно-рятувальних формувань в залежності від особливостей оперативної обстановки в межах окремого населеного пункту.

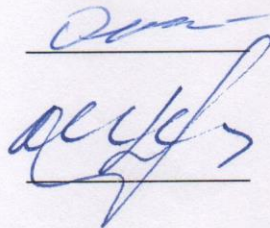
Очікуваним ефектом від використання результатів дисертаційної роботи є скорочення чисельності пожежно-рятувальних автомобілів, якими оснащені підрозділи на 6% та скорочення часу прямування їх до місця виклику в окремих випадках майже на 60%.

Голова комісії



Є.А. Тунік

Члени комісії:



О.В. Малезик

В.В. Попруженко