

Розробка методу комплектування аварійно-рятувальних формувань оперативними транспортними засобами

Р. І. Коваленко, А. Я. Калиновський, С. Ю. Назаренко, Б. І. Кривошей, Є. М. Грінченко, З. Г. Демидов, М. В. Мордвинцев, Р. О. Кайдалов

Проведено дослідження процесу реагування аварійно-рятувальних формувань на надзвичайні ситуації та небезпечні події, які виникають на території міста з населенням понад один мільйон осіб. Встановлено, що потік викликів, які надходять до підрозділів аварійно-рятувальних формувань, має певну структуру і їх чисельність корелює з показником загальної площі житлового фонду населеного пункту. Названа залежність була описана поліноміальною лінією тренду для якої було складено відповідне рівняння, яке дозволяє визначити чисельність викликів, які можуть надходити у майбутньому до підрозділів аварійно-рятувальних формувань. Ці дані можуть бути також використані для визначення чисельності оперативних транспортних засобів, якими повинні бути забезпечені підрозділи аварійно-рятувальних формувань для ефективного проведення ними дій за призначенням. Запропоновано метод комплектування підрозділів аварійно-рятувальних формувань оперативними транспортними засобами з урахуванням оперативної обстановки в їх районах виїзду, який полягає у виконанні чотирьох послідовних етапів. Перший етап передбачає проведення відбору необхідних показників на основі аналізу статистичних даних, які характеризують процес реагування підрозділів аварійно-рятувальних формувань на різного роду деструктивні події, та побудову прогнозу моделі. Другий етап передбачає проведення розрахунку показника приведеної чисельності автомобілів на виклик з урахуванням різних груп потоків викликів. Третій етап передбачає визначення загальної чисельності оперативних транспортних засобів для аварійно-рятувальних формувань населеного пункту. У зв'язку з тим, що на цьому етапі використовуються математичні моделі, які ґрунтуються на законі розподілу Пуассона, то існує обмеження при використанні запропонованого методу, яке полягає у тому, що потік викликів повинен бути пуассонівським. Четвертий етап розрахунків передбачає перерозподіл раніше визначеної загальної чисельності оперативних транспортних засобів по підрозділам аварійно-рятувальних формувань з урахуванням особливостей оперативної обстановки в їх районах виїзду

Ключові слова: аварійно-рятувальне формування, потік викликів, методика комплектування, оперативний транспортний засіб

1. Вступ

Однією із важливих функцій держави є забезпечення захисту населення від небезпечних подій (НП) та надзвичайних ситуацій (НС), які виникають на її території. Можна виділити три основних напрямки, які дозволяють реалізувати

цю функцію, а саме: запобігання, реагування та надання допомоги постраждалому від НП і НС населенню. Напрямок запобігання полягає у проведенні профілактичних робіт та заходів, які дозволяють знизити ймовірність появи різного роду деструктивних подій. Крім цього, названий напрямок дозволяє зменшити рівень негативного впливу від деструктивних подій, як у будівлях і спорудах, так і в природних екосистемах за рахунок їх раннього виявлення та обмеження поширення. Процес реагування на НП і НС передбачає їх локалізацію та ліквідацію підрозділами аварійно-рятувальних формувань (АРФ) шляхом проведення пожежогасіння та аварійно-рятувальних робіт різної спрямованості. Успіх проведення оперативних робіт АРФ головним чином залежить від часу зосередження сил та засобів на місці виклику, а також їх чисельного складу, рівня підготовки і оснащення. Час прямування сил та засобів з АРФ до місця виклику в багатьох містах світу часто становить понад 10 хвилин. Вказане значення перевищує аналогічний показник в розвинутих країнах світу та є причиною значного зростання масштабів НП і НС на момент прибуття підрозділів. Ця проблема переважно пов'язана з особливостями дислокації сил та засобів АРФ і їх чисельним складом, що не завжди відповідає характеру оперативної обстановки, яка склалася на території відповідних населених пунктів. Вирішення названої проблеми вбачається у проведенні передислокації наявних сил та засобів АРФ і, за умови необхідності, доукомплектування їх необхідними ресурсами з урахуванням існуючої оперативної обстановки, що потребує застосування обґрунтованих методів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В процесі визначення потреб АРФ міста у кількості сил та засобів, їх оснащення, місць дислокації, а також переліку виконуваних ними цільових завдань, необхідно враховувати достатньо багато різних чинників. В роботі [1] було встановлено, що визначення чисельності оперативних транспортних засобів (ОТЗ) у населених пунктах проводиться на основі нормативного підходу. Основними показниками, які при цьому враховуються, є чисельність населення та поверховість забудови відповідного населеного пункту. В процесі визначення чисельності ОТЗ для АРФ не враховуються регіональні особливості (клімат та рельєф), а також характер забудови населених пунктів.

У роботі [2] було запропоновано системний підхід до оцінки готовності сил та засобів АРФ до проведення оперативних робіт. Запропонований в роботі [2] підхід враховував показник ймовірності безвідмовної роботи технічних засобів, а також рівень професійної підготовки та рівень укомплектованості підрозділу особовим складом. В роботі [3] було запропоновано використати схожий, як і у роботі [2], підхід при оцінці готовності підрозділів до виконання дій за призначенням. Метою проведення цієї оцінки було вирішення задач щодо встановлення черговості підрозділів АРФ при переоснащенні їх новими ОТЗ. Оцінка проводилася по двом критеріям: оперативної готовності підрозділів до та після переоснащення і технічної готовності підрозділів до та після переоснащення. Відповідно запропоновані в роботах [2, 3] методи призначені для проведення оцінки готовності підрозділів до виконання дій за призначенням з урахуванням наявно-

го в них парку ОТЗ. Визначити необхідну чисельність спеціальної техніки з метою комплектування нею АРФ названі методи не дозволяють.

У роботі [4] була запропонована методика оцінки результатів роботи пожежних підрозділів, яка полягає у представленні статистичних даних про пожежу як вектора у шестимірному евклідовому просторі. Отримані за результатами цієї оцінки показники можуть бути використані для типізації і групування об'єктів за рівнем схожості у специфіці проведення оперативних робіт підрозділами АРФ, що потребує наявності у останніх того чи іншого набору ПТО. У процесі групування об'єктів за названим критерієм було отримано статистичний розподіл, який схожий на розподіл Парето. Відповідно в цій роботі також було запропоновано використовувати АВС-аналіз, який ґрунтується на розподілі Парето для оцінки потреби АРФ у ОТЗ. В роботі [5] з використанням АВС-аналізу було проведено ранжування території по інтенсивності виникнення НП та НС на ній. Проведене ранжування спрощує задачу проведення моніторингу НП та НС на відповідній території і дозволяє виконати більш ефективний розподіл сил та засобів АРФ по підрозділам. В роботі [6] з метою групування ОТЗ за частотою використання у процесі проведення оперативних робіт підрозділами АРФ було проведено АВС-аналіз. У процесі проведення АВС-аналізу значною проблемою є встановлення класифікаційних меж груп *A*, *B* і *C*. Класифікаційні межі груп *A*, *B* і *C* встановлюються або з урахуванням «Закону Парето», або графічним методом, або з використанням методу експертної оцінки. Відповідно одержані результати при виконанні групування ОТЗ за частотою використання часто мають суб'єктивний характер.

В роботі [7] запропоновані методи визначення місць розташування підрозділів АРФ на території населеного пункту, що впливає на час реагування їх на НП та НС. Визначення місць розташування підрозділів проводиться з урахування шістдесят одного критерію. Оптимальне місце розміщення підрозділів обирається із декількох альтернативних варіантів, які дозволяють визначити відповідні методи. Подібну задачу дозволяють вирішити і методи, які запропоновані в роботі [8]. Дані методи, на відміну від методів, які запропоновані в роботі [7], враховують також особливості комплектування підрозділів різними видами ОТЗ. Відповідно, розглянуті методи [7, 8] дозволяють визначити місця дислокації підрозділів АРФ на території населеного пункту з урахуванням мінімального часу їх прибуття до місця виклику. Визначити прогнозований час прибуття підрозділу АРФ до місця виклику дозволяє метод, який запропонований у роботі [9]. В процесі визначення орієнтовного часу прибуття підрозділу до місця виклику враховуються певні характеристики вулично-дорожньої мережі населеного пункту. Використовуючи метод [9], можна встановити залежності часу прибуття АРФ до місць ліквідації НП та НС залежно від виду ОТЗ, які перебувають на оснащенні підрозділу. В роботі [10] визначення необхідних місць зосередження АРФ пропонується виконувати шляхом проведення геопросторового аналізу. Метод геопросторового аналізу дозволяє встановити залежність кількості викликів підрозділів АРФ від таких чинників як, наприклад, соціальний статус населення та поверховість забудови відповідного адміністративно-територіального району населеного пункту. Маючи прогнозоване зна-

чення кількості викликів у певному районі, можна встановити необхідну кількість ОТЗ для АРФ, які займаються його обслуговуванням.

В роботі [11] запропоновані математичні моделі, які дозволяють оцінити ймовірність відмови у обслуговуванні виклику підрозділами АРФ через зайнятість сил та засобів на іншому виклику. Названі математичні моделі можуть бути впроваджені у диспетчерську службу АРФ з метою завчасного перерозподілу сил та засобів по території населеного пункту залежно від зміни оперативної обстановки. При цьому, можна отримати лише відносну оцінку ймовірності відмови у обслуговуванні виклику, на основі якої достатньо складно визначити необхідну кількість сил та засобів в підрозділах АРФ.

В роботі [12] дослідниками було запропоновано метод визначення необхідних видів та чисельності ОТЗ для підрозділів АРФ індустріальних парків, який полягав у проведенні імітаційного моделювання. Математичні моделі, які входили до алгоритму роботи використовуваної дослідниками імітаційної системи, ґрунтувалися на припущенні, що потоки викликів являються стаціонарними пуассонівськими, а час зайнятості автомобілів на обслуговуванні виклику описується експоненціальним законом розподілу. Проблемою при використанні вказаного методу є необхідність розрахунку всіх ймовірних значень показника емпіричної частоти використання ОТЗ на викликах, що на практиці не завжди можливо. Відповідно вирішення названої проблеми потребує прийняття ряду припущень, що вносить похибки у результати досліджень і у зв'язку з цим знижує їх точність.

Потік викликів, які надходять до підрозділів АРФ населених пунктів, характеризується нерівномірністю, зокрема добовою [13]. Ця нерівномірність є причиною того, що в залежності від часу доби в певних районах населеного пункту спостерігається стрімке зростання кількості викликів при чому в деяких випадках в рази. В ці моменти сил та засобів АРФ, які зосереджені на цих територіях, не достатньо для ефективного проведення оперативних робіт. В роботі [14] були перевірені статистичні закономірності, які характеризують потік викликів, що надходять до АРФ міст з чисельністю населення понад один мільйон. За результатами вказаних досліджень встановлено, що потік викликів є пуассонівським. Відповідно, це дозволяє використовувати математичні моделі, які ґрунтуються на законі розподілу Пуассона для опису процесу надходження викликів до АРФ. Запропонований у роботі [15] метод розрахований на вирішення задачі перерозподілу сил та засобів за умови зміни оперативної обстановки на території населеного пункту. Вказаний метод не може бути використаний для визначення необхідної чисельності ОТЗ у підрозділах АРФ.

З метою визначення необхідного видового та кількісного складу сил і засобів АРФ, при відправці їх на проведення оперативних робіт, можуть використовуватися системи для підтримки прийняття рішень. Дані системи створюються із застосуванням різних наукових підходів [16]. У роботі [16] запропоновано рекомендації для розробки інформаційних систем, які дозволяють визначити приблизну необхідну кількість сил та засобів для відправки до місць проведення оперативних робіт. В дослідженнях [17] було запропоновано підхід до визначення необхідної чисельності сил та засобів з метою подальшої їх відправки до місця виклику, який ґрунтувався на основі методів нейромережевого прогнозування. Згі-

дно [18], метод нейромережевого прогнозування має ряд вагомих недоліків, які обумовлюють складність його використання в діяльності підрозділів АРФ. Дані недоліки пов'язані зі стохастичним характером надходження потоку викликів до АРФ. Відповідно, методи та підходи, запропоновані в роботах [16, 17], є вузько направлені і розроблялися з метою вирішення задачі, яка полягає у визначенні необхідної кількості особового складу і ОТЗ для відправки до місця ліквідації НП і НС, які виникають на території населеного пункту.

В роботі [19] було запропоновано спосіб визначення необхідної чисельності ОТЗ для підрозділів АРФ з урахуванням статистичних даних, які відображають кількість залучень спеціальних автомобілів по видах до процесу обслуговування викликів в населеному пункті. Вказаний спосіб дозволяє визначити чисельність кузовів-контейнерів та автомобілів-носіїв, тобто розрахований на певну категорію спеціальної техніки, яка на сьогодні поки ще не перебуває на оснащенні жодного із підрозділів АРФ України.

Таким чином, розглянуті методи та підходи є вузько направлені і дозволяють вирішити конкретні задачі. Основними серед цих задач є визначення місць дислокації підрозділів, оцінка рівня готовності сил та засобів до виконання дій за призначенням і встановлення їх необхідної чисельності. Більшість серед відомих методів дозволяють встановити чисельність ОТЗ в підрозділах лише на етапі проектування населених пунктів. В процесі визначення видів та чисельності ОТЗ для АРФ враховуються чисельність населення та характер забудови відповідного населеного пункту. З розвитком населеного пункту може змінюватися чисельність його населення та характер забудови, що впливає на ефективність процесу реагування на НП і НС підрозділів АРФ. Відомі математичні моделі, які входять до складу методів встановлення чисельності ОТЗ в АРФ переважно ґрунтуються на законі розподілу Пуассона. Відповідно, було встановлено, що названі моделі були застосовані для визначення кількості ОТЗ в АРФ міст з чисельністю населення понад один мільйон. Ця особливість пояснюється тим, що в містах з чисельністю населення понад один мільйон потік викликів є пуассонівським. Відповідно, серед проаналізованих методів відсутні такі, які дозволяють вирішити задачу технічного переоснащення підрозділів новими ОТЗ з урахуванням існуючих їх місць дислокації для підвищення ефективності реагування АРФ на НП та НС.

3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є розробка методу комплектування підрозділів аварійно-рятувальних формувань оперативними транспортними засобами при вирішенні задачі їх технічного переоснащення.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розробити прогнозну модель, яка дозволяє визначити чисельність викликів підрозділів, які пов'язані з ліквідацією небезпечних подій та надзвичайних ситуацій у населеному пункті;

- теоретично обґрунтувати метод комплектування підрозділів аварійно-рятувальних формувань оперативними транспортними засобами, який дозволяє враховувати умови оперативної обстановки на території населеного пункту.

4. Розробка прогнозової моделі визначення чисельності небезпечних подій та надзвичайних ситуацій

За результатами аналізу робіт [1–19] було встановлено, що відомі методи визначення чисельності ОТЗ з метою оснащення підрозділів АРФ та передислокації наявних сил і засобів розроблялися переважно для міст-мільйонників. Подібні міста характеризуються більшою густотою населення порівняно з іншими групами міст, а тому виникнення на їх території НП і НС супроводжується значною кількістю постраждалих та загиблих. Вказана особливість пояснює вищий пріоритет у розробці даних методів саме для груп населених пунктів з чисельністю населення понад один мільйон. Крім цього, для цих груп населених пунктів потік викликів, який надходить до підрозділів АРФ, є пуассонівським.

Відповідно для проведення даних досліджень було обрано місто Харків (Україна), як населений пункт з чисельністю населення понад один мільйон. Зокрема, за результатами проведених раніше досліджень [14] для цього міста було підтверджено гіпотезу про пуассонівський характер потоку викликів, які надходять до підрозділів АРФ.

Необхідні для проведення досліджень дані були отримані у Головному управлінні Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Харківській області. Ці дані являють собою масив щоденних звітів за рік про стан виконання оперативних робіт АРФ всієї області. З даного масиву було відібрано дані, які стосуються проведення оперативних робіт АРФ на території міста Харкова. Отримані дані містять інформацію про час, місце та масштаби НП і НС, а також характеристику процесу їх ліквідації.

З метою побудови прогнозової моделі з масиву статистичних даних було відібрано ряд факторів, які мають вплив на чисельність викликів АРФ населеного пункту. До названих факторів ввійшли: чисельність населення, площа території, щільність населення, загальна площа житлового фонду (багатоквартирного і садибного), кількість житлових будинків висотою 26,5 м і вище, чисельність об'єктів підвищеної небезпеки та чисельність потенційно-небезпечних об'єктів. Перевірка залежності чисельності викликів АРФ від вказаних раніше факторів виконувалася шляхом проведення кореляційного аналізу. Деякі серед факторів були похідними один від одного та мали сильні кореляційні зв'язки між собою, а тому в подальшому були видалені. До розгляду також не приймалися фактори, які мали слабкі кореляційні зв'язки з показником кількості викликів підрозділів АРФ. Результати проведеного кореляційного аналізу наведені в табл. 1. Після цього, були визначено долю викликів (β_2), яка припадає на кожен підрозділ АРФ. Одержані результати наведені в табл. 2.

На рис. 1 зображена залежність кількості викликів від загальної площі житлового фонду відповідного адміністративно-територіального району м. Харкова.

Таблиця 1

Матриця парних кореляцій (кореляційний зв'язок чисельності викликів АРФ від ймовірних факторів впливу)

Змінна	Чисельність населення, тис. осіб	Загальна площа житлового фонду, тис. м ²	Кількість викликів підрозділів АРФ
Чисельність населення, тис. осіб	1	0,98	0,9
Загальна площа житлового фонду, тис. м ²	0,82	1	0,91
Кількість житлових будинків висотою 26,5 м і вище	0,75	0,85	0,74
Кількість викликів підрозділів АРФ	0,9	0,91	1

Таблиця 2

Дані щодо кількості викликів, які надходять до підрозділів АРФ

Підрозділ	Середня кількість викликів за рік	Стандартне відхилення	Відношення до району міста	Доля викликів, яка припадає на окремий підрозділ від загальної суми викликів (β_z)
ДПРЧ-1	445	34	Шевченківський	0,4
ДПРЧ-17	362	29		0,33
ДПРЧ-32	295	21		0,27
ДПРЧ-5	568	50	Московський	0,36
ДПРЧ-18	709	26		0,46
ДПРЧ-22	286	9		0,18
ДПРЧ-9	602	27	Київський	0,64
ДПРЧ-27	303	44		0,32
ДПРЧ-36	37	12		0,04
ДПРЧ-8	457	60	Індустріальний	0,68
ДПРЧ-25	218	22		0,32
ДПРЧ-2	532	32	Слобідський	1
ДПРЧ-11	506	48	Немишлянський	1
ДПРЧ-4	322	31	Основ'янський	0,63
ДПРЧ-41	189	18		0,37
ДПРЧ-26	107	22	Новобаварський	0,43
ДПРЧ-7	140	39		0,57
ДПРЧ-6	318	47	Холодногірський	0,47
ДПРЧ-3	358	14		0,53

Отримана залежність шляхом використання табличного процесора Microsoft Excel 2007 була апроксимована поліноміальною лінією тренду. Вид

лінії тренду обирався на основі розрахованого значення коефіцієнту детермінації, який характеризує ступінь близькості вказаної лінії до вихідних даних. Серед можливих видів ліній тренду розглядалися також експоненціальна, лінійна, логарифмічна та степенева. Відповідно найвище значення коефіцієнту детермінації, що складає 0,9727, було отримано для поліноміальної лінії тренду. Одержану поліноміальну лінію тренду описує відповідне рівняння регресії (1).

$$Y_i = 57,056 \cdot X_i^2 - 147,77 \cdot X_i + 2208,6, \quad (1)$$

де Y_i – прогнозне значення кількості викликів підрозділів АРФ на проведення оперативних робіт щодо ліквідації НП та НС відповідного i -го адміністративно-територіального району міста; X_i – загальна площа житлового фонду відповідного i -го адміністративно-територіального району міста, тис. м².

Шляхом побудови поліноміального рівняння регресії вищого ступеня ніж другий, можна досягти підвищення значення коефіцієнту детермінації. При цьому, високе значення коефіцієнту детермінації не гарантує того, що якість прогнозів проведених з використанням поліноміального рівняння регресії буде високою. Наприклад, при виборі поліноміального рівняння регресії шостого ступеню, значення коефіцієнту детермінації буде високим але лінія тренду не буде адекватно описувати вихідні дані. Вказана особливість є недоліком виконання прогнозу на основі побудованого поліноміального рівняння регресії. Враховуючи це, було прийнято рішення зупинитися на виборі поліноміального рівняння регресії другого ступеню.

Запропонована прогнозна модель дозволяє визначити кількість викликів підрозділів АРФ залежно від загальної площі житлового фонду відповідного адміністративно-територіального району міста. З метою визначення прогнозованої кількості викликів, які можуть надійти до кожного окремого АРФ необхідно врахувати попередньо розрахований показник β_z . Провести вказані розрахунки дозволяє формула (2).

$$y_z = Y_i \cdot \beta_z, \quad (2)$$

де y_z – прогнозоване значення кількості викликів z -го підрозділу АРФ відповідного i -го адміністративно-територіального району міста.

З рис. 1 видно, що лінія тренду є зростаючою, тобто чим більшою є площа житлового фонду відповідного адміністративно-територіального району, тим більшим є показник кількості викликів АРФ.

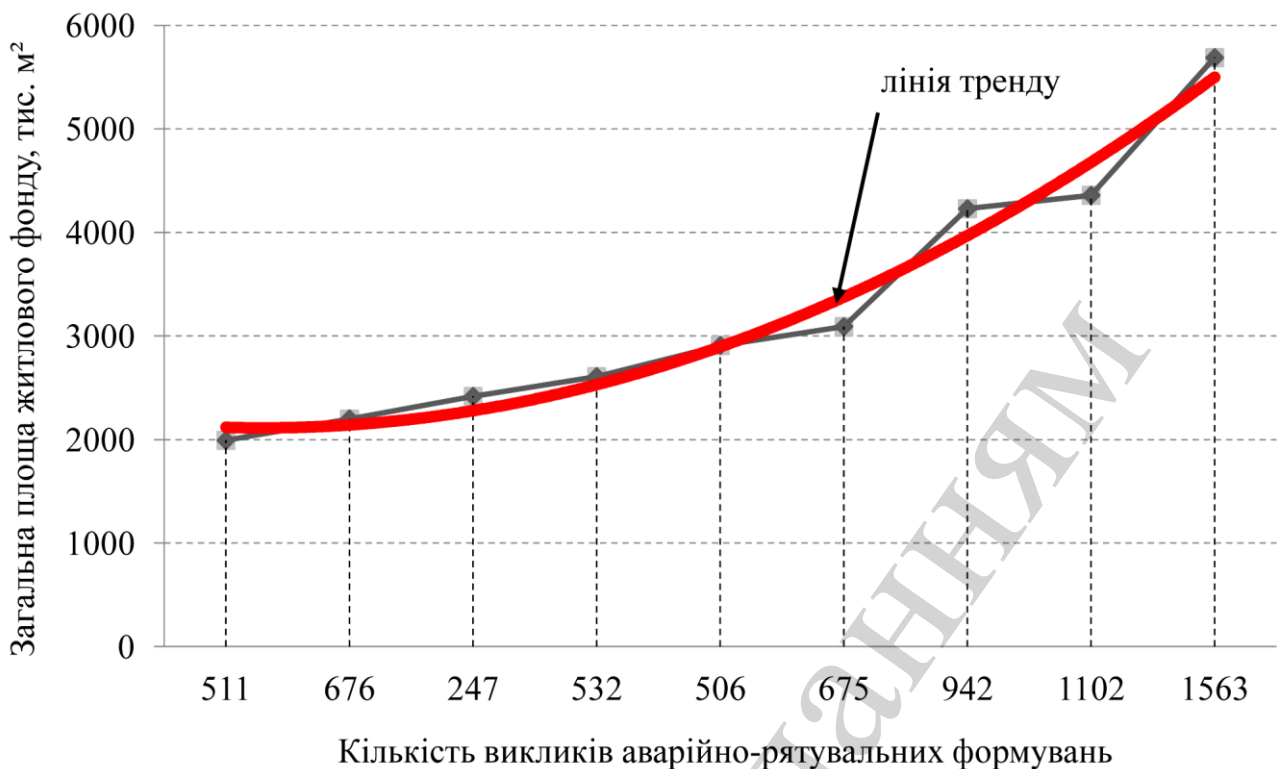


Рис. 1. Залежність кількості викликів від загальної площі житлового фонду відповідного адміністративно-територіального району міста Харкова

5. Теоретичне обґрунтування методу комплектування підрозділів аварійно-рятувальних формувань оперативними транспортними засобами

З метою визначення необхідної чисельності тих чи інших видів ОТЗ необхідно враховувати загальну структуру викликів підрозділів АРФ, яка може дещо відрізнятися для різних населених пунктів. Справа у тому, що в залежності від специфіки виклику до проведення оперативних робіт залучаються різні види ОТЗ. Для встановлення структури викликів підрозділів АРФ м. Харкова та розрахунку показника доли викликів від їх загальної кількості (γ_g) було проведено відповідне дослідження результати якого наведені в табл. 3.

Враховуючи встановлену структуру викликів та маючи прогнозоване значення загальної кількості викликів z -го підрозділу АРФ, можливо визначити ймовірну кількість викликів за умови врахування показника γ_g за наступною розрахунковою формулою:

$$K_f = y_z \cdot \gamma_g, \quad (3)$$

де K_f – ймовірна кількість викликів z -го підрозділу АРФ з відповідної причини g .

Порядок виконання розрахунків передбачає, що чисельність ОТЗ спершу розраховується для всього населеного пункту в цілому або для окремого його адміністративно-територіального району. Після цього, проводиться розподіл техніки по підрозділам з урахуванням інтенсивності потоку викликів, які до них надходять.

Таблиця 3

Структура викликів підрозділів АРФ м. Харкова

Причини викликів підрозділів АРФ	Доля викликів від їх загальної кількості (γ_g)
ліквідація наслідків пожеж та вибухів	0,73
проведення аварійно-рятувальних робіт під час дорожньо-транспортних пригод	0,01
допомога населенню	0,17
чергування	0,05
проведення демеркурації	0,03
інші	0,01

З проведеного аналізу статистичних даних було встановлено, що на різні групи викликів залучається різна чисельність ОТЗ. З метою врахування цієї особливості введено показник приведеної чисельності автомобілів на виклик (k_d), який розраховується за наступною формулою:

$$k_d = \frac{N_{\text{ОТЗ.г}}}{y_z}, \text{ автомобілів/виклик,} \quad (4)$$

де $N_{\text{ОТЗ.г}}$ – загальна кількість ОТЗ в населеному пункті, яка була зайнята обслуговуванням певної групи викликів.

В роботі [6] попередньо вже було виділено три окремих групи викликів: ліквідація пожеж та вибухів; ліквідація викидів небезпечних хімічних і радіоактивних речовин; допомога населенню та комунальним службам населеного пункту. З аналізу статистичних даних та при використанні розрахункової формули (4) було встановлено числові значення показників k_d :

– для першої групи викликів названий показник становить – 1,41 автомобілів/виклик;

– для другої групи викликів – 1,02 автомобілів/виклик;

– для третьої групи викликів – 1,16 автомобілів/виклик.

Типи ОТЗ, якими необхідно забезпечувати підрозділи АРФ, визначається з використанням методу експертних оцінок, що є необхідною умовою з метою врахування регіональних особливостей відповідного населеного пункту.

Потік викликів, які надходять до підрозділів АРФ, може бути описаним законом розподілу Пуассона [14]. Відповідно можливим є використання математичних моделей, які ґрунтуються на пуассонівському законі розподілу для визначення ймовірності зайнятості певної чисельності ОТЗ на обслуговуванні викликів. Виконати зазначену ймовірнісну чисельну оцінку можна використавши наступну математичну модель:

$$P_t(w) = (\lambda \cdot t_{z, \text{ср.}})^w \cdot e^{-\lambda \cdot t_{z, \text{ср.}}} / w!, \quad (5)$$

де $P_t(w)$ – ймовірність виникнення w викликів за час t ; w – кількість можливих одночасних викликів (1, 2, 3, ...); e – математична стала (число Ейлера); λ – частота надходження викликів до підрозділів АРФ, викликів/год; $t_{з.ср.}$ – середній час обслуговування одного виклику, годин.

Математична модель (5) фактично виражає закон розподілу Пуассона для ймовірностей масових і не частих подій та дозволяє встановити ймовірність одночасного виникнення певної кількості викликів w . Під поняттям «одночасне виникнення» необхідно розуміти ситуацію, коли до АРФ надходить повідомлення про новий виклик, а обслуговування попереднього або попередніх викликів ще не закінчено. З метою врахування таких ситуацій в математичну модель (5) введено показник $t_{з.ср.}$.

В математичній моделі (5) показник λ визначається шляхом поділу попередньо розрахованого показника y_z на кількість годин в у календарному році. Показник $t_{з.ср.}$ розраховується по статистичним даним окремо для кожної групи викликів і для підрозділів АРФ м. Харкова. Вказаний показник становить: для першої групи викликів – 0,93 год, для другої групи викликів – 1 год; для третьої групи викликів – 0,79 год.

За математичною моделлю (5) 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 ($\lambda_{отз.им}$):

$$\lambda_{отз.им} = \lambda \cdot k_d, \text{ автомобілів/годину.} \quad (6)$$

При підстановці показника $\lambda_{отз.им}$ у математичну модель (5) замість показника λ , можна отримати математичну модель, яка дозволяє визначати ймовірність залучення певної чисельності оперативних ТЗ до обслуговування викликів у населеному пункті:

$$P_t(r) = \left(\lambda_{отз.им} \cdot t_{з.ср.} \right)^r \cdot e^{-\lambda_{отз.им} t_{з.ср.}} / r!, \quad (7)$$

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

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

$$P_0 + P_1 + \dots + P_n = 1, \quad (8)$$

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

Поряд з вказаною раніше умовою необхідно ввести обмеження, яке має відношення до мінімальної кількості ОТЗ, яка повинна зосереджуватися у підрозділі АРФ. Враховуючи те, що більша кількість викликів підрозділів

пов'язана із виконанням оперативних робіт з пожежогасіння відповідно це обмеження полягає у наступному:

$$N_{\text{АРФ},z}^{\text{АП}} \geq 1, \quad (9)$$

де $N_{\text{АРФ},z}^{\text{АП}}$ – чисельність автомобілів з основним цільовим завданням пожежогасіння у z -му підрозділі АРФ.

Введення цього обмеження також дозволяє запобігти можливій ситуації, коли за результатами виконання розрахунків чисельність ОТЗ буде меншою за чисельність АРФ. При цьому, не кожен підрозділ матиме у своєму розпорядженні спеціальний автомобіль, що стане причиною погіршення показника середнього часу прибуття сил та засобів до місця виклику. З метою врахування цього обмеження у підсумкові розрахункові формули для визначення чисельності ОТЗ введено показник c , який чисельно дорівнює кількості підрозділів АРФ у населеному пункті. Названу необхідність можна пояснити також тим, що на практиці при масштабних НП і НС залучається більша половина ОТЗ, які перебувають на оснащенні АРФ. Відповідно, існує небезпека, яка полягає у тому, що в окремих районах міста не залишиться жодного спеціального автомобіля.

Визначити загальну чисельність автомобілів основним цільовим завданням яких є пожежогасіння можна з використанням наступної розрахункової формули:

$$N_{\text{АРФ},\text{заг}}^{\text{АП}} = r_{\text{АП}} + c, \quad (10)$$

де $r_{\text{АП}}$ – максимально можлива ймовірна чисельність одночасно залучених ОТЗ основним цільовим призначенням яких є пожежогасіння на виклик.

Показник $r_{\text{АП}}$ визначається з використанням математичної моделі (7) і чисельно дорівнює кількості ОТЗ основним цільовим призначенням яких є пожежогасіння при значенні $P_f(r)=0$.

Загальна чисельність ОТЗ з іншими цільовими призначеннями, які відмінні від пожежогасіння ($N_{\text{АРФ},\text{заг}}^{\text{ОТЗін}}$) визначається з використанням розрахункової формули (11).

$$N_{\text{АРФ},\text{заг}}^{\text{ОТЗін}} = r_{\text{ОТЗін}} + \lceil \gamma_g \cdot c \rceil, \quad (11)$$

де $r_{\text{ОТЗін}}$ – максимально можлива ймовірна чисельність одночасно залучених ОТЗ цільове призначення яких відмінне від пожежогасіння на виклик; γ_g – доля викликів, що належать до відповідної групи від їх загальної кількості, які надходять до АРФ населеного пункту; c – показник, який чисельно дорівнює кількості АРФ у населеному пункті.

З метою отримання чисельності $N_{\text{АРФ},\text{заг}}^{\text{ОТЗін}}$ у вигляді цілого числа результат множення γ_g на c округлюється відповідно у більшу сторону до цілого числа.

Після визначення загальної чисельності ОТЗ по відповідним видам необхідно провести їх розподіл між підрозділами АРФ з урахуванням інтенсивності та структури потоку викликів, які до них надходять.

Виконати вказаний перерозподіл можливо при використанні наступної цільової функції:

$$f(\Phi) = \frac{\sum (\Phi_{ik} - \bar{\Phi})^2}{a - 1} \rightarrow \min, \quad (12)$$

$$\Phi = \{ \Phi_{ik} \}, \quad (13)$$

де Φ_{ik} – показник, який чисельно дорівнює відношенню чисельності викликів, які надходять до z -го підрозділу АРФ, до кількості ОТЗ, яка була фактично наявна впродовж аналізованого періоду в підрозділі; $\bar{\Phi}$ – середнє арифметичне значення вибірки; a – об'єм вибірки.

Отримані числові значення при використанні функції (12) не будуть цілими числами. Для отримання цілих значень чисельності необхідно враховувати величину дробової частини чисел. Відповідно в першу чергу, необхідно округлювати в більшу сторону ті значення, які мають більшу дробову частину і з урахуванням цього проводити розподіл різних видів ОТЗ між АРФ.

В роботі з метою перерозподілу визначеної чисельності ОТЗ, які призначені для обслуговування першої групи викликів, було обрано саме цільову функцію (12). Для цього було використано табличний процесор Microsoft Excel 2007 та його функція «Пошук рішення». Спочатку в таблицю були введені вихідні дані, а саме: назви підрозділів АРФ, кількість викликів відповідної групи за рік та пропонується чисельність ОТЗ. Значення кількості ОТЗ в комірку «пропонується чисельність ОТЗ» вводилися довільні але при цьому загальна сума ОТЗ відповідала загальній кількості ОТЗ, яка розраховувалася з використанням формули (10). Наступним розраховувався показник Φ_{ik} . Після введення значення цільової функції (12) в одну з комірок таблиці, розраховувалося значення дисперсії по числовим значенням показника Φ_{ik} . Далі із застосуванням функції «Пошук рішення», обиралася комірка з введеною цільовою функцією, вносилися обмеження та обиралося значення цільової функції – min. З урахуванням одержаних результатів розрахунків в таблицю вводилися нові значення чисельності ОТЗ по підрозділам та повторний раз розраховувалося значення дисперсії, яке далі порівнювалося з початковим для перевірки одержаного ефекту. Функція (12) дозволяє таким чином розподілити чисельність ОТЗ по підрозділам, щоб значення показника Φ_{ik} для кожного окремого підрозділу було максимально близьким до його середнього значення. Відповідно за рахунок цього можна досягти рівномірного розподілу кількості виїздів на кожен окремий ОТЗ, який перебуває на оснащенні АРФ населеного пункту.

6. Обговорення результатів розробки методу комплектування підрозділів аварійно-рятувальних формувань оперативними транспортними засобами

Проаналізувавши дані, наведені в табл. 1, можна дійти висновку, що на кількість викликів підрозділів АРФ найбільше впливають два фактора – чисельність населення та загальна площа житлового фонду.

Причиною більшості викликів підрозділів АРФ є пожежі (67–78 % від загальної кількості викликів по м. Харкову). Вагома кількість пожеж виникає у будинках та спорудах житлового призначення, а також на відкритих територіях в межах населеного пункту. Пожежі на відкритих територіях характеризуються горінням трави та сміття, а причинами їх виникнення, у більшості випадків є навмисні підпали. Крім цього, підрозділи АРФ достатньо часто залучаються до надання допомоги населенню (11–24 % від загальної кількості викликів), а також до проведення демеркуризації у приміщеннях житлових будинків (2–4 % від загальної кількості викликів). Через те, що підрозділи найбільш часто залучаються до проведення оперативних робіт на об'єкти житлового фонду та відкриті території поблизу них, пояснюється вплив першого та другого факторів на кількість викликів.

Відповідно в процесі визначення ймовірної чисельності викликів підрозділів АРФ у якості основного показника можна використати загальну площу житлового фонду, який зосереджений у відповідному адміністративно-територіальному районі міста. Перевагами цього показника порівняно з показником чисельності населення адміністративно-територіального району є те, що:

- в населених пунктах постійно ведеться облік загальної площі житлового фонду, а офіційний перепис населення востаннє проводився у 2001 році;
- чисельність населення є достатньо мінливим показником, який залежить від міграції, народжуваності і смертності, сезонності та інших чинників, а показник загальної площі житлового фонду є порівняно більш стабільним.

З урахуванням виявлених особливостей у якості основного показника для розробки прогнозної моделі визначення чисельності викликів АРФ на роботи щодо НП та НС у населеному пункті було обрано загальну площу житлового фонду. При цьому, була виявлена проблема, яка полягала у тому, що кожен адміністративно-територіальний район міста поділений на зони відповідальності підрозділів АРФ, а облік загальної площі житлового фонду проводиться загалом по окремим адміністративно-територіальним районам. Вирішення названої проблеми потребувало встановлення долі викликів, яка припадає на кожен підрозділ АРФ зона обслуговування якого знаходиться у межах того чи іншого адміністративно-територіального району міста. Далі ці значення були використані для визначення прогнозованої чисельності викликів, яка буде припадати на кожен окремий підрозділ АРФ з урахуванням загальної кількості викликів, що будуть виникати у відповідному адміністративно-територіальному районі. Перед цим, спершу було визначено показник середньої кількості викликів за рік, які припадають на кожен окремий підрозділ АРФ та оцінено його стандартне відхилення. Загалом було проаналізовано період з 2010 року до 2018 року.

Наступним кроком стала побудова прогнозу моделі, яка дозволяє визначити ймовірну кількість викликів підрозділів АРФ залежно від загальної площі житлового фонду, який зосереджений по адміністративно-територіальних районах міста. Визначення прогнозованої чисельності викликів, які можуть надходити окремо до кожного підрозділу АРФ потребує врахування показника β_z для чого в роботі була запропонована відповідна розрахункова формула (3).

У кінцевому вигляді запропонований метод комплектування АРФ ОТЗ полягає у виконанні чотирьох послідовних етапів, які наведені на рис. 2.

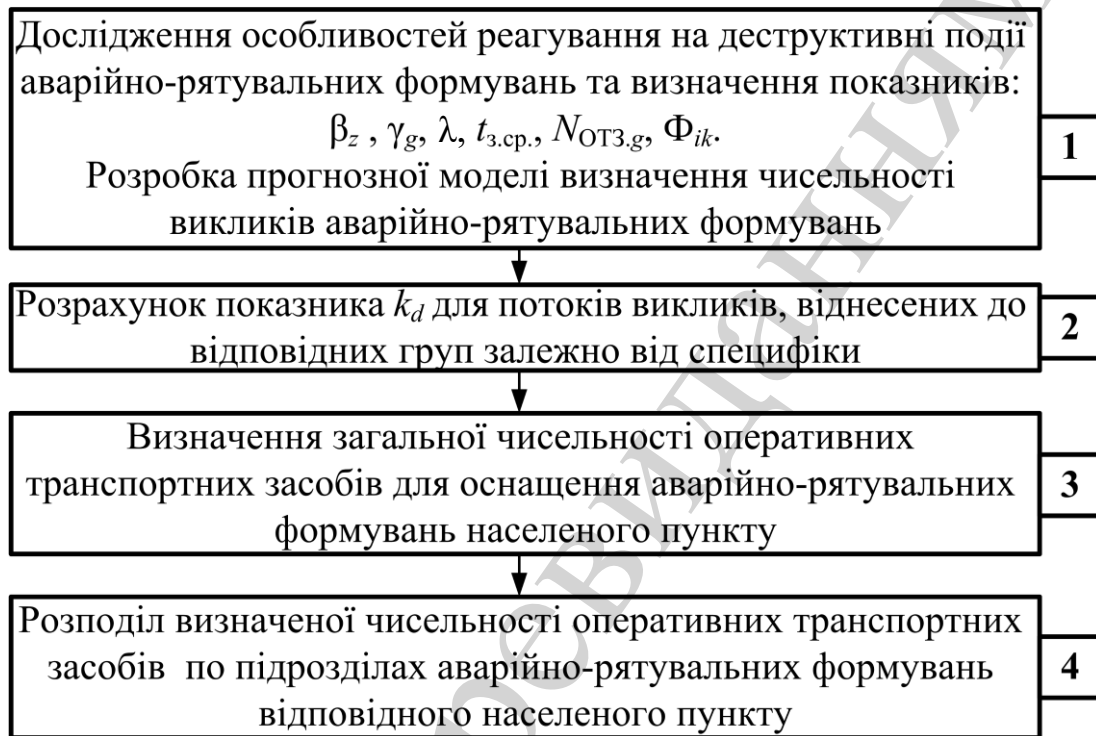


Рис. 2. Етапи виконання розрахунків при використанні методу визначення чисельності оперативних транспортних засобів для аварійно-рятувальних формувань

Наведені на рис. 2 етапи виконання розрахунків передбачають спершу розробку прогнозу моделі і визначення з її допомогою чисельності викликів підрозділів АРФ на ліквідацію НП та НС. На основі визначеного показника чисельності викликів АРФ далі розраховується необхідна кількість ОТЗ для комплектування підрозділів.

Умовою застосування запропонованого методу є те, що потік викликів повинен бути пуассонівським.

З метою забезпечення більшої точності результатів у якості бази даних може бути використана база даних оперативно-диспетчерської служби оперативно-координаційного центру, які переважно розміщуються в Управліннях та Головних управліннях ДСНС України у відповідних областях.

Запропонований в цій роботі метод комплектування АРФ ОТЗ був реалізований на прикладі міста Харкова.

За результатами розрахунку загальної чисельності ОТЗ для АРФ були отримані наступні значення:

- ОТЗ для обслуговування першої групи викликів – 29 автомобілів;
- ОТЗ для обслуговування другої групи викликів – 5 автомобілів;
- ОТЗ для обслуговування третьої групи викликів – 10 автомобілів.

Результати виконання розподілу визначеної чисельності ОТЗ по підрозділам АРФ наведено в табл. 4. Основними підрозділами АРФ у місті Харкові є державні пожежно-рятувальні частини (ДПРЧ), тому вказаний розподіл виконувався саме по ним.

Таблиця 4
Пропонована чисельність різних видів ОТЗ для АРФ міста Харкова

Пропонована чисельність ОТЗ	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
для обслуговування першої групи викликів	2	2	1	1	3	1	1	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1
для обслуговування другої групи викликів	–	1	1	–	–	–	–	1	1	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–
для обслуговування третьої групи викликів	1	1	1	–	–	1	–	1	1	1	1	1	–	–	–	–	1	–	–

Після визначення загальної чисельності ОТЗ та їх перерозподілу по АРФ було досліджено ймовірний ефект від прийнятих рішень. У якості показника ефективності було обрано середній час прибуття підрозділів до місця виклику, який використовується для оцінки рівня оперативної готовності АРФ до дій за призначенням.

З цією метою спершу було визначено середню швидкість прямування ОТЗ в місті Харкові шляхом проведення вибіркового дослідження. Для отримання адекватних результатів досліджень необхідно було визначити обсяг вибірки (E) із генеральної сукупності даних. З цією метою було використано наступну розрахункову формулу:

$$E = \frac{1}{\Delta^2 + \frac{1}{D}}, \quad (14)$$

де Δ^2 – помилка репрезентативності; D – об'єм генеральної сукупності.

При обранні помилки репрезентативності на рівні 0,05, що є прийнятним для технічних розрахунків та об'ємі генеральної сукупності 6754 отримано обсяг вибірки – 378.

З метою здійснення випадкової вибірки 378 значень з 6754 було використано функцію «Вибірка» табличного процесора Microsoft Excel 2007, що дозволило виконати повторну випадкову вибірку.

Після цього почергово на карту наносилися місця дислокації АРФ та місця виникнення НП і НС на території міста Харкова. Далі з використанням картографічного сервісу Scribble Maps визначалася дистанція прямування між вказаними раніше місцями по вулично-дорожній мережі. У підсумку було отримано середню швидкість прямування ОТЗ по вулично-дорожній мережі міста Харкова – 18,9 км/год.

Наступним кроком було визначення середнього часу прибуття підрозділів до місця обслуговування першої групи викликів. Для цього з генеральної сукупності даних були спершу відібрані лише ті дані, які мали відношення до першої групи викликів. Далі було розраховано обсяг вибірки та проведено вибірку даних по описаному раніше способу. Після цього, визначалася відстань прямування між місцем дислокації АРФ та місцем виклику. З урахуванням визначеної середньої швидкості прямування ОТЗ по вулично-дорожній мережі міста Харкова визначався середній показник часу прибуття. Аналогічним чином були проведені розрахунки і для решти груп викликів. Наведений порядок розрахунків проводився для двох випадків, а саме: при існуючому варіанті комплектування АРФ ОТЗ та пропонованому з використанням розробленого методу.

За результатами досліджень статистичних даних встановлено, що середній час прибуття підрозділів до місця виклику при існуючому варіанті комплектування АРФ ОТЗ становить:

- до місць обслуговування першої групи викликів – 9 хвилин;
- до місць обслуговування другої групи викликів – 29 хвилин;
- до місць обслуговування третьої групи викликів – 11,2 хвилини.

За умови комплектування АРФ ОТЗ у відповідності до варіанту, який запропоновано при використанні розробленого методу, орієнтовний час прибуття підрозділів до місця виклику становить:

- до місць обслуговування першої групи викликів – 9 хвилин;
- до місць обслуговування другої групи викликів – 11,46 хвилини;
- до місць обслуговування третьої групи викликів – 9,24 хвилини.

Шляхом порівняння значень середнього часу прибуття були отримані наступні результати:

а) середній час прибуття підрозділів до місця обслуговування першої групи викликів залишився незмінним, що є наслідком прийнятого раніше обмеження (9);

б) середній час прибуття підрозділів до місця обслуговування другої групи викликів, за умови впровадження пропонованого варіанту комплектування АРФ, можна скоротити майже на 60,5 %;

в) середній час прибуття підрозділів до місця обслуговування третьої групи викликів, за умови впровадження пропонованого варіанту комплектування АРФ, можна скоротити майже на 17,5 %.

Скорочення показника середнього часу прибуття досягається за рахунок доукомплектування АРФ певними видами ОТЗ і перерозподілу цих засобів по підрозділах з урахуванням оперативної обстановки в населеному пункті. В процесі визначення чисельності ОТЗ в цій роботі головним чином враховувалася умова, що їх чисельність в АРФ повинна бути достатньою для забезпечення обслуговування одночасно декількох викликів. Поряд з цим, при визначенні місць дислокації ОТЗ враховувалася умова забезпечення рівномірного завантаження підрозділів оперативною роботою. Як було вказано раніше, середній час прибуття підрозділів до місця обслуговування першої групи викликів залишився незмінним і не перевищує 10 хвилин. Відповідно це значення відповідає нормативному показнику в розвинутих країнах світу. За результатами оцінки встановлено, що при запропонованому варіанті комплектування АРФ середній час прибуття підрозділів до місць обслуговування третьої групи викликів складає також менше 10 хвилин. Час прибуття підрозділів до місць обслуговування другої групи викликів, навіть після доукомплектування АРФ ОТЗ відповідно до запропонованого варіанту, складає понад 10 хвилин. Досягти більшого скорочення часу прибуття можливо за рахунок оснащення окремих підрозділів АРФ певним видом ОТЗ, що в свою чергу дозволяє розширити перелік виконуваних цими підрозділами цільових завдань. При цьому, варто враховувати, що зі збільшенням чисельності ОТЗ зростають матеріальні витрати, які пов'язані з їх придбанням та наступним утриманням.

У подальшому планується розробка методу оцінки часу реагування АРФ залежно від особливостей комплектування їх ОТЗ.

7. Висновки

1. Встановлено, що потік викликів, які надходять до підрозділів аварійно-рятувальних формувань, має певну структуру, з якої можна виділити декілька окремих потоків викликів залежно від специфіки. Першим є потік викликів, пов'язаний з пожежами та вибухами. Другим є потік викликів, пов'язаний з розливами та/або викидами небезпечних хімічних і радіоактивних речовин. Третім є потік викликів, який пов'язаний з наданням допомоги населенню і комунальним службам населеного пункту. До проведення оперативних робіт названих потоків викликів залучається різна чисельність оперативних транспортних засобів, яку в роботі було запропоновано оцінити показником k_d . Встановлена залежність кількості викликів підрозділів аварійно-рятувальних формувань від загальної площі житлового фонду відповідного адміністративно-

територіального району міста. Названа залежність була апроксимована поліноміальною лінією тренду, для якої було складено рівняння регресії. Вказане рівняння дозволяє визначити ймовірну чисельність викликів підрозділів аварійно-рятувальних формувань населеного пункту на ліквідацію небезпечних подій та надзвичайних ситуацій з урахуванням змін загальної площі житлового фонду.

2. Запропоновано метод комплектування підрозділів аварійно-рятувальних формувань оперативними транспортними засобами з урахуванням оперативної обстановки в їх районах виїзду. За результатами досліджень встановлено, що реалізація вказаного методу на практиці дозволяє скоротити час прибуття підрозділів до місця обслуговування другої групи викликів майже на 60,5 %, а третьої групи викликів майже на 17,5 %.

Література

1. Коханенко, В. Б., Беляєв, В. Ю. (2017). Принцип комплектації підрозділів пожежно-рятувальних частин в населених пунктах України з урахуванням умов експлуатації. *Проблеми пожежної безпеки*, 41, 98–103.
2. Tiutiunyk, V. V., Ivanets, H. V., Tolkunov, I. A., Stetsyuk, E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 99–105. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
3. Шкурнов, С. А. (2016). Информационно-аналитическая модель принятия решений по переоснащению парка пожарных автомобилей. *Пожаровзрывобезопасность*, 25 (7), 58–62.
4. Мартинович, Н. В., Татаркин, И. Н., Антонов, А. В., Мельник, А. А. (2015). Методика определения потребности пожарно-спасательных подразделений в пожарной технике, оборудовании и пожарно-техническом вооружении. *Науковедение*, 7 (6), 1–12.
5. Tracey, J. A., Rochester, C. J., Hathaway, S. A., Preston, K. L., Syphard, A. D., Vandergast, A. G. et. al. (2018). Prioritizing conserved areas threatened by wildfire and fragmentation for monitoring and management. *PLOS ONE*, 13 (9), e0200203. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200203>
6. Ларін, О. М., Калиновський, А. Я., Коваленко, Р. І. (2016). Розробка методики визначення чисельності парку автомобілів в пожежно-рятувальних підрозділах. *Комунальне господарство міст*, 130, 92–100.
7. Aldabbas, M., Venteicher, F., Gerber, L., Widmer, M. (2018). Finding the Adequate Location Scenario After the Merger of Fire Brigades Thanks to Multiple Criteria Decision Analysis Methods. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 43 (2), 69–88. doi: <https://doi.org/10.1515/fcds-2018-0006>
8. Wang, J., Liu, H., An, S., Cui, N. (2016). A new partial coverage locating model for cooperative fire services. *Information Sciences*, 373, 527–538. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.06.030>
9. Bandyopadhyay, M., Singh, V. (2016). Development of agent based model for predicting emergency response time. *Perspectives in Science*, 8, 138–141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.017>

10. Popelínský, J., Vachuda, J., Veselý, O. (2017). Geographical modelling based on spatial differentiation of fire brigade actions: A case study of Brno, Czech Republic. *Bulletin of Geography. Socio-Economic Series*, 35 (35), 81–92. doi: <https://doi.org/10.1515/bog-2017-0006>
11. Krasuski, A., Kreński, K. (2014). Decision Support System for Blockage Management in Fire Service. *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric*, 37(1), 107–123. doi: <https://doi.org/10.2478/slgr-2014-0020>
12. Брушлинский, Н. Н., Сычев, Я. В. (2015). Организация системы обеспечения комплексной безопасности промышленных парков на современном этапе. *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*, 1, 54–60.
13. Clarke, A., Miles, J. C. (2012). Strategic Fire and Rescue Service decision making using evolutionary algorithms. *Advances in Engineering Software*, 50, 29–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2012.04.002>
14. Калиновський, А. Я., Коваленко, Р. І. (2017). Статистичне дослідження характеру небезпечних подій, які виникають в місті Харкові. *Комунальне господарство міст*, 135, 159–166.
15. Usanov, D., Guido Legemaate, G. A., van de Ven, P. M., van der Mei, R. D. (2019). Fire truck relocation during major incidents. *Naval Research Logistics (NRL)*, 66 (2), 105–122. doi: <https://doi.org/10.1002/nav.21831>
16. Luokkala, P., Virrantaus, K. (2014). Developing information systems to support situational awareness and interaction in time-pressuring crisis situations. *Safety Science*, 63, 191–203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.11.014>
17. Sadeghi-Naini, A., Asgary, A. (2013). Modeling number of firefighters responding to an incident using artificial neural networks. *International Journal of Emergency Services*, 2 (2), 104–118. doi: <https://doi.org/10.1108/ijes-03-2012-0001>
18. Бренич, Я. В., Тимошук, П. В. (2012). Нейромережеві методи розв'язання задачі класифікації. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22.13, 343–349.
19. Коваленко, Р. І. (2017). Розробка способу визначення необхідної чисельності багатофункціональних мобільних аварійно-рятувальних комплексів контейнерного типу для комплектування аварійно-рятувальних формувань. *Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека*, 2 (4), 40–46.