УДК 68.667.612 **DOI 10.33042/2522-1809-2022-1-168-100-107**

А.С. Рогозін, В.О. Росоха, О.Ю. Нікітченко, М.О. Мороз, В.І. Заіченко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

РОЗРОБКА ПІДХОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ ЗАЛУЧЕННЯ ОПЕРАТИВНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДО ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ ПОДІЙ

В статті представлено підхід визначення ймовірностей залучення оперативно-рятувальних підрозділів до ліквідації надзвичайних подій на території. Оцінку ймовірностей залучення оперативно-рятувальних підрозділів запропоновано здійснювати на основі розгляду дій щодо обслуговування викликів, як випадкового процесу Маркова в залежності від інтенсивності потоку подій. Наведено розрахункові співвідношення для оцінки ймовірності залучення підрозділів до ліквідації надзвичайних подій.

Ключові слова: *оцінка ймовірності, реагування, рятувальний підрозділ, випадковий процес, масове обслуговування.*

Постановка проблеми

Забезпечення безпеки населення та територій від реалізації загроз різного характеру є однією з основних функцій держави. За останні десять років на території України зареєстровано більше 2,5 тис. надзвичайних ситуацій збитки від яких склали 1,7 млрд. доларів США. Необхідною умовою забезпечення ефективності реалізації функції цивільного захисту є адекватність заходів та кількості сил існуючим загрозам на території. Проблема забезпечення ефективної реалізації функції цивільного захисту територій та населення ускладнена тим, що території мають суттєву різницю в інтенсивності реалізації загроз різного характеру, відмінності в геофізичних властивостях, рівні урбанізації тощо.

Проблема науково обґрунтування оптимального складу сил цивільного захисту на території дуже складна і вимагає проведення спеціальних досліджень, пов'язаних з оцінкою особливостей території, їх математичним описом, математичним моделюванням і математико-статистичним аналізом аспектів реагування на деструктивні події на території.

Успішне вирішення даної проблеми безпосередньо пов'язано з надійністю та достовірністю інформаційного забезпечення. Необхідна актуальна, достовірна і повна інформація про основні аспекти щодо реагування на деструктивні події на території.

З дослідження закономірностей, об'єктивно властивих процесу реагування на надзвичайні події, і необхідно розпочинати вирішення питань визначення оптимальних кількісних показників сил оперативного реагування.

Для ефективної організації цивільного захисту на території, необхідно правильно обґрунтувати параметри сил цивільного захисту на території, а для цього необхідно вміти оцінювати загальний обсяг роботи сил цивільного захисту, параметри їх функціонування, більшість з яких носить випадковий характер і добре описується різними імовірнісними моделями [1–6].

За допомогою цих моделей можна знайти ймовірності різних станів процесу функціонування сил цивільного захисту на території, знехтувати його малоймовірними станами (тобто дуже рідкісними подіями) і обґрунтувати, таким чином, кількісні параметри сил цивільного захисту конкретної території, які щільно пов'язані з параметрами, що характеризують процес виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій. Отже, з методологічної точки зору найбільш адекватними природі і характеру досліджуваної проблеми є методи системного аналізу, математичної статистики, теорії ймовірностей та випадкових процесів на основі яких можна знайти важливі закономірності процесу ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій [7–8].

Основний принцип організації сил цивільного захисту території полягає в наступному [9]: вони повинні бути організовані таким чином, щоб в будь-який момент часу на будь-яку виниклу на території надзвичайну подію негайно відреагувати набором сил і засобів, адекватних характеру та масштабу виниклої події.

При цьому повинні виконуватися наступні обмеження:

- прибуття сил і засобів цивільного захисту до місця виклику повинно укладатися у нормативно встановлені часові інтервали, обумовлені закономірностями розвитку і рівнем ризику конкретних видів

 © Рогозін А.С., Росоха В.О., Нікітченко О.Ю., Мороз М.О., Заіченко В.І.

деструктивних подій (пожежі, потреба в медичній допомозі, руйнування споруд, аварії на елементах інфраструктури тощо);

- загальна кількість сил і засобів цивільного захисту на території має бути економічно виправданим, тобто відповідати прийнятному рівню ризику, заданому для деструктивних подій кожного типу.

З даного принципу випливають основні завдання організації сил цивільного захисту, які в загальному випадку полягають у визначенні необхідної кількості сил і засобів для забезпечення реагування на виникнення надзвичайних подій, у визначенні місць їх розміщення на території і виробленні стратегії і тактики їх застосування. В умовах постійних динамічних процесів, що відбуваються на території адміністративних утворень, знайти «абсолютний оптимум» у вирішенні таких завдань не представляється можливим, однак задаючись відповідними обмеженнями та спрощеннями процесу реагування на виникаючі надзвичайні події можливо наблизитись до раціонального стану організації сил цивільного захисту на території.

Для вирішення питань визначення кількісних показників сил цивільного захисту на сучасному етапі можна виділити два основні підходи: нормативний і розрахунковий.

Нормативне обґрунтування кількісних показників сил цивільного захисту території, як правило, передує застосуванню інших методів уточнення кількісних показників сил цивільного захисту, завдяки своїй простоті і зручності використання. Як в нашій країні, так і за кордоном, був розроблений ряд нормативів, що регламентують основні параметри сил цивільного захисту на території. В нашій країні, кількість техніки, число місць дислокації оперативно-рятувальних підрозділів визначається на основі площі території та кількості населення (ДБН 360–92**) але застосування норм визначених в цьому документі для населених пунктів з різною кількістю населення є суперечливим, це обумовлено закономірностями розподілу щільності населення колишнього СРСР, які суттєво відрізняються від сучасного стану розподілу щільності населення на території України.

Також, попри всі позитивні боки нормативного підходу визначення кількісних параметрів сил оперативного призначення, він не враховує в повній мірі особливості території стосовно рівня існуючих небезпек та інтенсивності їх реалізації. Розрахунковий підхід для окремих ділянок території дозволяє з достатнім рівнем адекватності врахувати окремі місцеві особливості території в плані проявів загроз різного характеру, окремих показників реагування сил на надзвичайні події.

Отже питання визначення шляхів визначення ймовірнісних характеристик залучення оперативно-рятувальних підрозділів є актуальними та своєчасними.

Аналіз останніх досліджень у публікацій

Сутність і переваги методу математичного моделювання стосовно завдань організації сил оперативного реагування детально обговорюються в роботах [10, 11]. В роботах наведено огляд різних типів математичних моделей для дослідження та організації швидкого реагування на надзвичайні події на урбанізованих територіях.

Функціонування сил цивільного захисту пов’язано з проявом цілого ряду характерних особливостей:

1) імовірнісним характером розподілу виникнення потреби діяти за призначенням на осі часу;

2) імовірнісним характером розподілу виникнення потреби діяти за призначенням в просторі (на території);

3) імовірнісним характером розподілу виникнення потреби діяти за при значенням із залученням різної кількості сил та засобів.

По першій із зазначених особливостей моделювання діяльності здійснюють за допомогою використання теорії масового обслуговування.

Основна ідея використання положень теорії масового обслуговування полягає у визначенні необхідної кількості елементів сил цивільного захисту території, при якому буде гарантовано із заданою ймовірністю фіксований мінімальний час реагування на події і ймовірність відмови негайного реагування на подію не перевищить встановлених граничних значень.

Детальний огляд математичних моделей побудованих на основі методів теорії масового обслуговування міститься в роботах [11–12]. Всі моделі, ґрунтуються на припущенні, що потоки викликів є стаціонарними пуасонівським, а час зайнятості описується показовим законом розподілу. Досвід використання таких моделей в [13–14] показує адекватність їх застосування та достовірність отриманих результатів. В якості недоліків застосування моделей побудованих на основі теорії масового обслуговування можна визначити такі:

- ймовірність відхилення реального розподілу потоку викликів від стаціонарності;

- відхилення реального розподілу часу залучення елементів системи від показового закону;

- неможливість встановлення параметрів закону розподілу з достатньою точністю у випадку низької інтенсивності виникнення надзвичайних подій.

В роботі [14] викладено дескриптивна модель

процесу функціонування елементів системи. Модель дозволяє розраховувати ймовірність і середню тривалість часу перебування системи у будь-якому стані обслуговування подій, а також частоту переходу системи в ці стани. Також огляд аналогічних розробок наведено в [15].

Формулювання мети статті

Ключовим питанням організації аварійно-рятувальної служби гарнізонів є обґрунтування кількісного складу чергових змін. Суттєві розбіжності в напруженості оперативної обстановки території адміністративних одиниць України та відсутність норм визначення кількісних характеристик чергових сил оперативно-рятувальних підрозділів обумовлює актуальність задачі створення моделей визначення ймовірнісних характеристик оперативного реагування на надзвичайні події.

Виклад основного матеріалу

Світовий досвід побудови оперативно-рятувальних служб свідчить, що підхід нормування чисельності служб спираючись тільки на кількість населення не є оптимальним, а у ряді випадків є помилковим, нормативна не урегульованість питань кількісного складу чергових сил підрозділів призводить до визначення кількості сил виходячи із суб'єктивної оцінки, що обумовлює збільшення ймовірності помилкових рішень і, як наслідок, зниження ефективності забезпечення цивільного захисту населення та територій.

Враховуючи обмеження за критерієм часу прибуття підрозділів на виклик, закономірності виникнення деструктивних подій на території, визначальним для оцінки напруженості оперативної обстановки для підрозділів оперативно-рятувальної служби є не кількість населення, а його щільність. На рис. 1 представлено залежність зміни щільності населення від кількості мешканців в населених пунктах України.

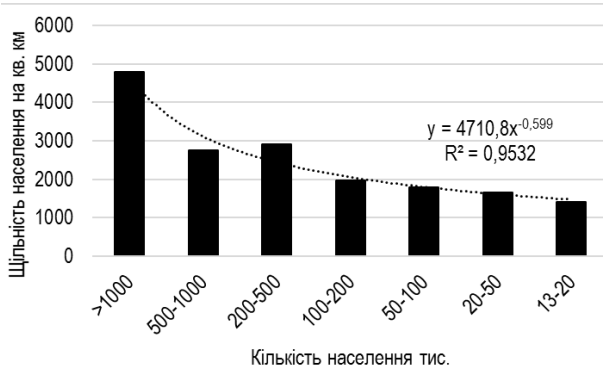

Рис. 1. Залежність щільності населення від кількості мешканців в населених пунктах України

На рис. 2 представлено результати розрахунку кількості основної техніки, що необхідна для обслуговування району виїзду однієї частини оперативно-рятувальної служби виходячи з вимог (ДБН 360–92**).

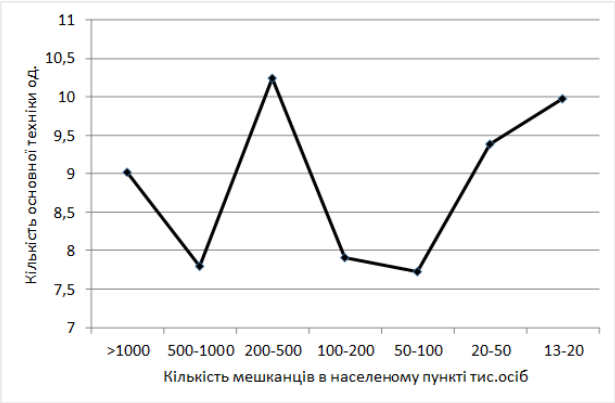

Рис. 2. Залежність кількості основної техніки, що необхідна для обслуговування району виїзду однієї частин оперативно-рятувальної служби від кількості мешканців в населеному пункті

За результатами проведеного аналізу можна стверджувати, що існує суттєва нерівномірність рівня забезпечення основною технікою частин, спираючись на практичний досвід та результати моделювання оперативної діяльності оперативно-рятувальних підрозділів, кількість основної техніки, яка розраховується за нормами (ДБН 360–92**) є надмірною. Розмах коливань кількості основної техніки дорівнює більш ніж 25% [16], також у (ДБН 360–92**) відсутні роз'яснення щодо визначення необхідної кількості відділень для забезпечення належного рівня реагування, що у свою чергу вимагає використовувати підходи визначення чисельності підрозділів на основі математичного моделювання з врахуванням закономірностей їх оперативної діяльності.

Підхід моделювання діяльності підрозділів оперативного призначення на основі теорії масового обслуговування має суттєве обмеження обумовлені нездоланими труднощами в оцінці параметрів діяльності при відносно невеликій інтенсивності реалізації загроз різного характеру на території а саме неможливістю з необхідною точністю оцінити параметри потоку виникнення надзвичайних подій.

Враховуючи стохастичну природу потоку виникнення надзвичайних подій та ліквідації їх наслідків, виникнення та ліквідацію наслідків надзвичайних подій можна розглядати як випадковий Марківський процес.

Марковські випадкові процеси розподіляються для дискретних неперервних і неперервно-

дискретних випадкових величин [17]. Ми будемо розглядати випадковий процес виникнення та ліквідації надзвичайних подій, за умови незмінності інтенсивності переходу процесу в різні стани, тобто процес будемо описувати диференціальними рівняннями, коефіцієнти яких не залежать від часу і відповідно в цьому випадку будемо розглядати однорідний марківський процес. Розглянемо випадок коли можливо виникнення до трьох надзвичайних подій із залученням до трьох підрозділів. Граф станів для цього випадку представлено на рис. 3.

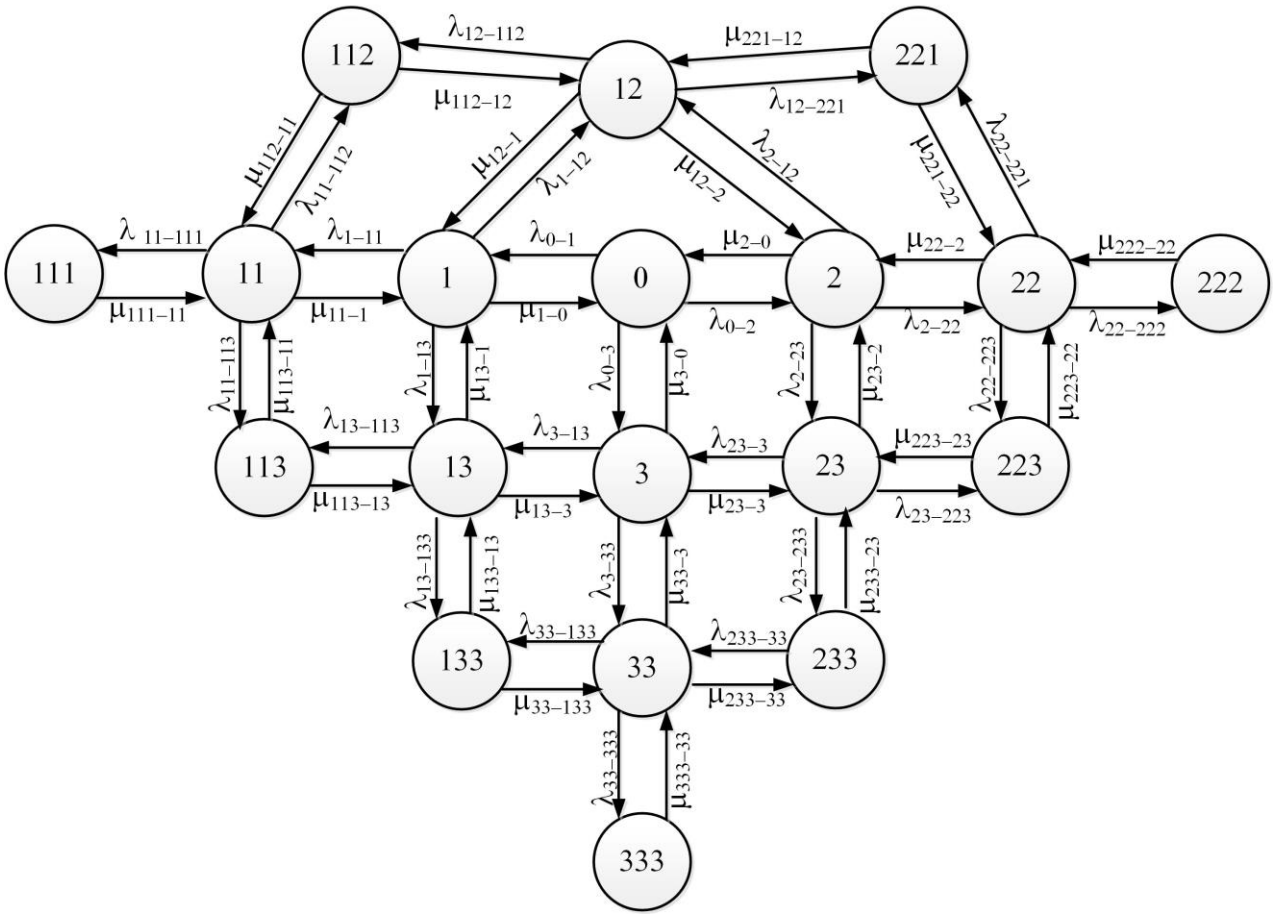

Рис. 3. Граф станів виникнення до трьох надзвичайних подій із залученням до трьох підрозділів для їх ліквідації

Враховуючи, що інтенсивність переходу із попереднього стану у наступний стан із залученням n підрозділі буде дорівнювати $\lambda \cdot \kappa_n$, де κ_n ймовірності залучення n підрозділів для ліквідації надзвичайної події, а інтенсивність переходу у попередній стан дорівнює μ. Складемо диференційні рівняння процесу переходу із стану в стан, у лівій частині кожного з рівнянь запишемо похідну ймовірності і-го стану $p_i(t)$. У правій частині – суму добутків ймовірностей усіх станів (з яких відбувається перехід до даного стану) на інтенсивності відповідних потоків подій мінус сумарна інтенсивність усіх потоків, що виводять систему із даного і-го стану, помножена на ймовірність цього стану. Доповнимо, таким чином побудовані рівняння, нормуючою умовою, що сума ймовірностей всіх станів дорівнює одиниці.

Рівняння Колмогорова для розглянутого випадку мають наступний вид.

$$\frac{dp_0(t)}{dt} = \mu \cdot p_1(t) + \mu \cdot p_2(t) + \mu \cdot p_3(t) - (\lambda \cdot \kappa_2 + \lambda \cdot \kappa_1 + \lambda \cdot \kappa_3) p_0(t);$$

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = -\mu \cdot p_1(t) - \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_1(t) - \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_1(t) - \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_1(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_0(t) + \mu \cdot p_{12}(t) + \mu \cdot p_{11}(t) + \mu \cdot p_{13}(t);$$

$$\frac{dp_2(t)}{dt} = -\mu \cdot p_2(t) - \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_2(t) - \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_2(t) - \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_2(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_0(t) + \mu \cdot p_{12}(t) + \mu \cdot p_{22}(t) + \mu \cdot p_{23}(t);$$

$$\frac{dp_{11}(t)}{dt} = -\mu \cdot p_{11}(t) - p_{11}(t)(\lambda \cdot \kappa_1 + \lambda \cdot \kappa_2 + \lambda \cdot \kappa_3) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_1(t) + \mu(p_{111}(t) + p_{112}(t) + p_{113}(t));$$

$$\frac{dp_3(t)}{dt} = -\mu \cdot p_3(t) - \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_3(t) - \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_3(t) - \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_3(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_0(t) + \mu \cdot p_{13}(t) + \mu \cdot p_{23}(t) + \mu \cdot p_{33}(t);$$

$$\frac{dp_{22}(t)}{dt} = -\mu \cdot p_{22}(t) - p_{22}(t)(\lambda \cdot \kappa_1 + \lambda \cdot \kappa_2 + \lambda \cdot \kappa_3) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_2(t) + \mu(p_{221}(t) + p_{222}(t) + p_{223}(t));$$

$$\frac{dp_{33}(t)}{dt} = \mu \cdot p_{33}(t) - p_{33}(t)(\lambda \cdot \kappa_1 + \lambda \cdot \kappa_2 + \lambda \cdot \kappa_3) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_3(t) + \mu(p_{331}(t) + p_{332}(t) + p_{333}(t));$$

$$\frac{dp_{13}(t)}{dt} = -2\mu \cdot p_{13}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_1(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_3(t) - p_{13}(t)(\lambda \cdot \kappa_1 + \lambda \cdot \kappa_2 + \lambda \cdot \kappa_3) + \mu(p_{131}(t) + p_{132}(t) + p_{133}(t));$$

$$\frac{dp_{12}(t)}{dt} = -2\mu \cdot p_{12}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_1(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_2(t) - p_{12}(t)(\lambda \cdot \kappa_1 + \lambda \cdot \kappa_2 + \lambda \cdot \kappa_3) + \mu(p_{121}(t) + p_{122}(t) + p_{123}(t));$$

$$\frac{dp_{111}(t)}{dt} = -\mu \cdot p_{111}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{11}(t);$$

$$\frac{dp_{112}(t)}{dt} = -2\mu \cdot p_{112}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{11}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{12}(t);$$

$$\frac{dp_{221}(t)}{dt} = -2\mu \cdot p_{221}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{12}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{22}(t);$$

$$\frac{dp_{223}(t)}{dt} = -2\mu \cdot p_{223}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{22}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{23}(t);$$

$$\frac{dp_{233}(t)}{dt} = -2\mu \cdot p_{233}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{23}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{33}(t); \quad (1)$$

$$\frac{dp_{222}(t)}{dt} = -\mu \cdot p_{222}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{22}(t);$$

$$\frac{dp_{333}(t)}{dt} = -\mu \cdot p_{333}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{33}(t);$$

$$\frac{dp_{113}(t)}{dt} = -2\mu \cdot p_{113}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{13}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{11}(t);$$

$$\frac{dp_{133}(t)}{dt} = -2\mu \cdot p_{133}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{33}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{13}(t);$$

$$p_{23}(t) = 1 - p_1(t) - p_0(t) - p_2(t) - p_{11}(t) - p_{22}(t) - p_{13}(t) - p_3(t) - p_{33}(t) - p_{12}(t) - p_{111}(t) - p_{112}(t) - p_{221}(t) - p_{222}(t) - p_{223}(t) - p_{333}(t) - p_{113}(t) - p_{133}(t) - p_{233}(t).$$

Рішення системи (1) при t→∞ має наступний вид:

$$p_0 = \frac{\mu^3}{C1}; \; p_1 = \frac{\lambda \cdot \kappa_1 \cdot \mu^2}{C1}; \; p_2 = \frac{\lambda \cdot \kappa_2 \cdot \mu^2}{C1}; \; p_3 = \frac{\lambda \cdot \kappa_3 \cdot \mu^2}{C1};$$
$$p_{12} = \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_1 \cdot \mu}{C1}; \; p_{11} = \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_1^2 \cdot \mu}{C1}; \; p_{22} = \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_2^2 \cdot \mu}{C1};$$
$$p_{33} = \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_3^2 \cdot \mu}{C1}; \; p_{13} = \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_3 \cdot \mu}{C}; \; p_{23} = \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \mu}{C}; \quad (2)$$
$$p_{111} = \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1^3}{C1}; \; p_{112} = \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1^2 \cdot \kappa_2}{C1}; \; p_{113} = \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1^2 \cdot \kappa_3}{C1};$$
$$p_{133} = \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_3^2}{C1}; \; p_{221} = \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2^2}{C1}; \; p_{222} = \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_2^3}{C1};$$
$$p_{223} = \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_2^2}{C1}; \; p_{133} = \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3^2}{C1}; \; p_{333} = \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_3^3}{C1},$$

де

$$C1 = \lambda^3 \cdot \kappa_1^3 + \lambda^3 \cdot \kappa_1^2 \cdot \kappa_2 + \lambda^3 \cdot \kappa_1^2 \cdot \kappa_3 + \lambda^3 \cdot \kappa_2^2 \cdot \kappa_1 + \lambda^3 \cdot \kappa_3^2 \cdot \kappa_1 + \lambda^3 \cdot \kappa_2^3 + + \lambda^3 \cdot \kappa_2^2 \cdot \kappa_3 + \lambda^3 \cdot \kappa_3^2 \cdot \kappa_2 + \lambda^3 \cdot \kappa_3^3 + + \lambda^2 \cdot \kappa_1^2 \cdot \mu + \lambda^2 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \mu + \lambda^2 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_3 \cdot \mu + \lambda^2 \cdot \kappa_2^2 \cdot \mu + \lambda^2 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \mu + \lambda^2 \cdot \kappa_3^2 \cdot \mu + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot \mu^2 + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot \mu^2 + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot \mu^2 + \mu^3.$$

Так як при розгляді процесу приймались обмеження кількості можливих його станів, ймовірності розраховані за рівняннями (2) будуть відрізнятись від дійсних значень. Адекватність отриманих співвідношень визначалась на основі оцінки відносної помилки ймовірності p_0 відносно ймовірності стану коли не буде ліквідовуватись жодна надзвичайна подія, розраховану за підходом масового обслуговування.

На рис. 4 представлено залежність відносної помилки від зміни параметрів випадкового процесу λ та μ.

Відносна помилка у діапазоні низької інтенсивності виникнення надзвичайних подій не перевищує 2%, отже отримані розрахункові співвідношення добре погоджуються з ймовірностями обчисленими за підходом розгляду обслуговування викликів, як системи масового обслуговування, що дає підстави використовувати їх для визначення кількості підрозділів на території з низькою інтенсивністю реалізації небезпек.

Висновки

Встановлено, що існуючі підходи визначення кількісних параметрів оперативно-рятувальних служб для низької інтенсивності викликів не спроможні визначати їх з належною мірою адекватності.

Рішення цього завдання можливе на основі розгляду обслуговування викликів як випадкового марківського процесу.

Проведені дослідження марківського процесу, що відповідає ситуації коли можливо виникнення до трьох надзвичайних подій із залученням одночасно до трьох підрозділів дозволили встановити, що отримані розрахункові співвідношення ймовірності знаходження системи в різних станах ліквідації надзвичайних подій адекватно описують процес оперативної діяльності, відносна похибка отриманих результатів не перевищує 2%.

Таким чином, запропонований підхід дозволяє моделювати оперативну діяльність оперативно-рятувальних сил з високим рівнем адекватності при невеликій інтенсивності викликів підрозділів.

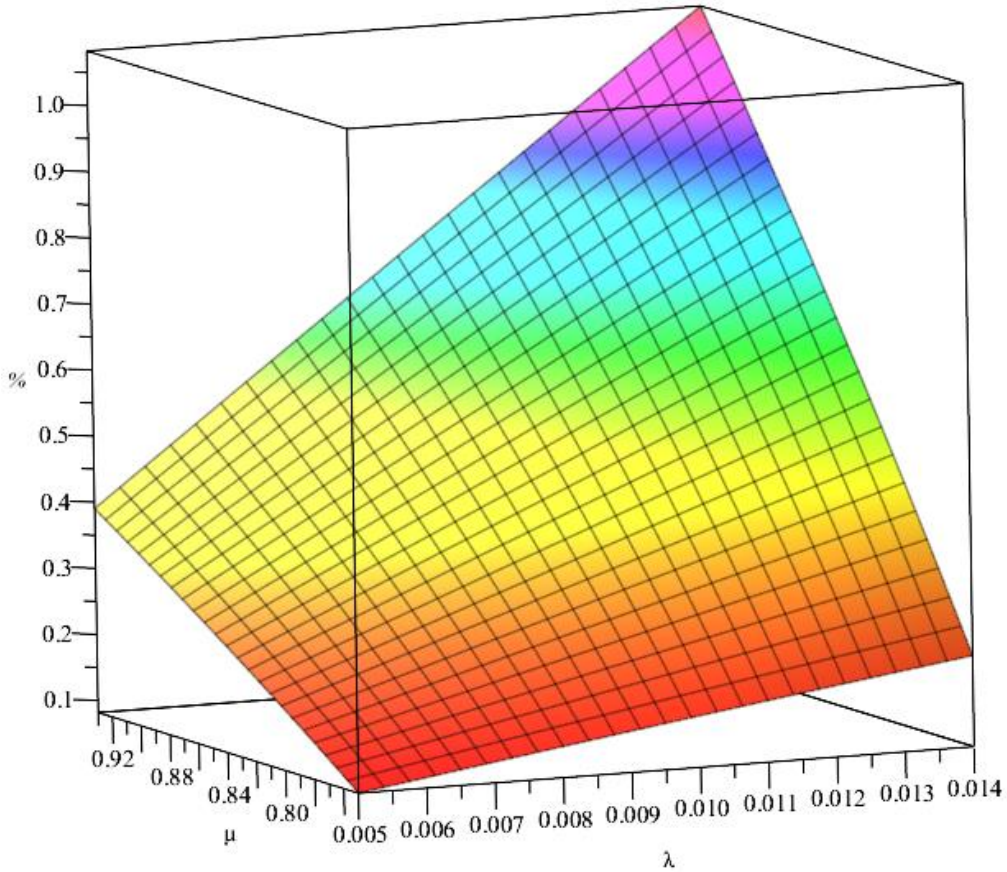

Рис. 4. Залежність відносної помилки ймовірності стану коли не ліквідовуються наслідки жодної надзвичайної ситуацій від зміни параметрів процесу λ та μ

Література

1. *Guo Q. Probabilistic Evaluation of Structural Fire Resistance / Q. Guo, K. Shi, Z. Jia, Z. Jeffers // Fire Technology. SFPE. – 2013. – Vol. 49, Is. 3. – P. 793–811.*
2. *Walker W.E. Applying systems analysis to the fire service [Електронний ресурс] / W.E. Walker. – New York : Fire Engineering, 1975. – 41 p. – Режим доступу: http://www.rand.org/pubs/papers/P5456.html*
3. *Rennemo S.J. A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning / S.J. Rennemo, K. Fougner Ro, L.M. Hvattum, G. Tirado // Journal Transportation Research Part E. – 2014 – No 62. – P. 116–135. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.12.006*
4. *Gutjahr W.J. Multicriteria optimization in humanitarian aid / W.J. Gutjahr, P.C. Nolz // European Journal of Operational Research. – 2015. – No 252(2). – P. 351–366. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.035*
5. *Coskun N. An Optimization Model for Locating and Sizing Emergency Medical Service Stations / N. Coskun, R. Erol // Journal of Medical Systems. – 2010. – No 34. – P. 43–49. DOI: https://doi.org/10.1007/s10916-008-9214-0*
6. *Beraldi P. A probabilistic model applied to emergency service vehicle location / P. Beraldi, M.E. Bruni // European Journal of Operational Research. – 2009 – No 196(1). – P. 323–331. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.02.027*
7. *Walker W.E. An Analysis of the Deployment of Fire-Fighting Resources in Denver, Colorado [Електронний ресурс] / W.E. Walker. – New York : Rand Corporation, 1975. – 124 p. – Режим доступу: http://www.rand.org/pubs/reports/R1566z3.html*
8. *Рогозін А.С. Аналіз ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру на території Київської, Харківської, Луганської, Одеської областей / А.С. Рогозін, Р.Т. Левченко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – № 3(40). – С. 190–192.*
9. *Калугін В.Д. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Чорногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1/6(55). – С. 59–70.*

10. Алехин Е.М. Методологические, теоретические и прикладные аспекты проблем проектирования противопожарных служб в городах / Е.М. Алехин, Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Сб. трудов ВНИИПО МВД РФ. – Москва : ВНИИПО МВД РФ, 1997. – С. 29–41.

11. Белов В.А. Проектирование гарнизонов пожарной охраны на основе технологий имитационного моделирования : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.10 / Белов Виктор Александрович ; наук. кер. Соколов С. В. – Москва, 2010. – 149 с.

12. Гришин А.Ф. Разработка рекомендаций по совершенствованию оперативной деятельности пожарной охраны городов и населенных пунктов на основе применения методов имитационного моделирования : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.10 / Гришин Алексей Федорович ; наук. кер. Кольщик Р. В. – Москва, 1988. – 217 с.

13. Chaiken J.M. Transfer of emergency service deployment models to operating agences / J.M. Chaiken // Management Science. – Catonsville : Institute for Operations Research and the Management Sciences. – 1978. – No 7. – P. 719–731.

14. Красавин А.В. Нормирование ресурсов пожарной охраны / А.В. Красавин. – Москва : Эко–Пресс, 2010. – 194 с.

15. Красавин А.В. Нормирование основных ресурсов подразделений муниципальной пожарно–спасательной службы : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.10 / Красавин Александр Вадимович ; наук. кер. Коробко В. Б. – Москва, 2005. – 221 с.

16. Соболь О.М. Модель визначення чисельності особового складу оперативно–рятувальних підрозділів / О.М. Соболь, А.С. Рогозін, М.М. Долгодуш та ін. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 22. – С. 130–136.

17. Adan I. Queueing Theory [Електронний ресурс] // Adan I., Resing J. – Режим доступу: http://www.win.tue.nl/~iadan/queueing.pdf

References

1. Guo, Q., Shi, K., Jia, Z., Jeffers, Z. (2013). Probabilistic Evaluation of Structural Fire Resistance. *Fire Technology, SFPE*, 49(3), 793–811.

2. Walker, W.E. (1975). Applying systems analysis to the fire service. New York, Fire Engineering. URL: http://www.rand.org/pubs/papers/P5456.html

3. Rennemo, S.J. (2014). A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning. *Journal Transportation Research, Part E*, 62, 116–135. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2013.12.006

4. Gutjahr, W.J., Nolz, P.C. (2015). Multicriteria optimization in humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, 252(2), 351–366. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.035

5. Coskun, N., Erol, R. (2010). An Optimization Model for Locating and Sizing Emergency Medical Service Stations. *Journal of Medical Systems*, 34, 43–49. DOI: https://doi.org/10.1007/s10916-008-9214-0

6. Beraldi, P., Bruni, M.E. (2009). A probabilistic model applied to emergency service vehicle location. *European Journal of Operational Research*, 196(1), 323–331. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.02.027

7. Walker, W.E. (1975). An Analysis of the Deployment of Fire-Fighting Resources in Denver, Colorado. New York, Rand Corporation. URL: http://www.rand.org/pubs/reports/R1566z3.html

8. Rogozin, A.S., Levchenko, R.T. (2014). Analysis of the development of supervised situations of natural and technogenic character in the territories of Kyiv, Kharkiv, Lugansk, Odessa regions. *Collection of scientific works of Kharkiv National University of the Air Force*, 3(40), 190–192. [in Ukrainian]

9. Kalugin, V.D., Tyutyunik, V.V. Chornohor, L.F., Shevchenko, R.I. (2012). System approach to risk assessment of emergencies in Ukraine. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 1/6(55), 59–70. [in Ukrainian]

10. Alekhin, E.M., Brushlinsky, N.N., Sokolov, S.V. (1997). Methodological, theoretical and applied aspects of the design problems of fire services in cities *Collection of works of VNIIPO of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*, 29–41. [in Russian]

11. Belov, V.A. (2010). *Design of garrisons of fire protection on the basis of simulation modeling technologies*. PhD Thesis. Moscow. [in Russian]

12. Grishin, A.F. (1988). *Development of recommendations for improving the operational activities of the fire protection of cities and towns based on the use of simulation methods*. PhD Thesis. Moscow. [in Russian]

13. Chaiken, J.M. (1978). Transfer of emergency service deployment models to operating agences. *Institute for Operations Research and the Management Scienc*es, 7, 719–731.

14. Krasavin, A.V. (2010). *Rationing of fire protection resources*. Moscow, Eco-Press. [in Russian]

15. Krasavin, A.V. (2005). *Rationing of basic resources of subdivisions of the municipal fire and rescue service*. PhD Thesis. Moscow. [in Russian]

16. Sobol, O.M., Rogozin, A.S., Dolgodus, M.M. (2015). Model of the value of the number of a special warehouse of operatively-ryatuvalnyh pidrozdiliv. *Problems of emergencies*, 22, 130–136. [in Ukrainian]

17. Adan, I., Resing, J. (2015). Queueing Theory. URL: http://www.win.tue.nl/~iadan/queueing.pdf

Рецензент: д-р техн. наук, проф., директор Інституту підготовки кадрів вищої кваліфікації В.Ф. Харченко, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: РОГОЗІН Анатолій Сергійович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – darbar@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4604-3351

Автор: РОСОХА Володимир Омелянович
кандидат психологічних наук, професор
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – bgd204@yahoo.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2499-6530

Автор: НІКІТЧЕНКО Ольга Юріївна
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – olganikitchenko369@gmail.com

Автор: МОРОЗ Миколай Олександрович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – Sstkret_@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0852-2677

Автор: ЗАІЧЕНКО Віктор Іванович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – viza50@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5390-2524

DEVELOPING AN APPROACH TO DETERMINING THE PROBABILITIES OF INVOLVING OPERATIONAL AND RESCUE DEPARTMENTS TO ELIMINATE EMERGENCY EVENTS

A. Rohozin, V. Rosoha, O. Nikitchenko, M. Moroz, V. Zaichenko
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The aim of the work is to develop an approach for assessing the probabilities of operational activities of civil protection units. The existing approaches to modeling operational activities do not fully meet the requirements for the accuracy of assessing the parameters of activities at a low intensity of emergency events. This fact is due to the limited data available for analysis.

The existing regulatory requirements for determining the quantitative composition of subdivisions, taking into account only the number of the population, leads to an unreasonable overestimation of quantitative indicators. It was found that there is a significant unevenness in the level of provision of units with basic equipment, the range of fluctuations for different numbers of the population exceeds 25%.

It was found that the approach to modeling the activities of operational units based on the queuing theory has a significant limitation due to insurmountable difficulties in assessing the parameters of activities with a relatively low intensity of the implementation of threats of various nature in the territory, namely, the impossibility of assessing the parameters of the flow of emergencies with the required accuracy.

The article considers the case when up to three emergency events may occur with the involvement of up to three subdivisions. This case is characterized by nineteen situation. As a result of the conducted research the calculated ratios which allow to estimate probabilities of finding of divisions of civil protection in the course of liquidation of emergency events are received.

The adequacy of the results obtained was verified by comparing the results obtained on the basis of the Markov model and considering the process of responding to emerging emergency events based on queuing. The relative error in the range of low intensity of emergencies does not exceed 2%.

The practical significance of the study lies in the possibility of determining quantitative indicators of operational civil protection units in conditions of low intensity of occurrence of emergency events with a higher level of adequacy.

Keywords: *probability assessment, reaction, rescue unit, random process, queuing.*