

УДК 311.4

А.С. Рогозін¹, Р.С. Малежик²¹ Національний університет цивільного захисту України, Харків² Управління Державної служби з надзвичайних ситуацій у Кіровоградській області

МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ ОПЕРАТИВНО-РЯТУВАЛЬНОЇ СЛУЖБИ

В статті представлено модель оперативної діяльності підрозділів оперативно-рятувальної служби, розглядаючи виникнення та ліквідацію викликів, як випадковий процес.

Ключові слова: модель, ймовірність, оперативно-рятувальна служба, ліквідація, реагування.

Вступ

Постановка проблеми. Необхідною умовою забезпечення ефективності заходів цивільного захисту є адекватність кількості сил існуючим загрозам на території. Завдання нормування сил оперативно-рятувальних підрозділів ускладнюється ще і тим, що територія навіть одного регіону має великі розбіжності в інтенсивності проявів загроз і відповідно окремі ділянки потребують різної кількості сил. Також ситуацію усугубляє обмеженість існуючих підходів щодо визначення необхідної кількості сил на території, відсутність чіткого нормування рівня безпеки території.

Суттєва різниця між територіями за геофізичними властивостями, рівнем урбанізації, інтенсивності реалізації існуючих загроз, об'єктивна необхідність підвищення адекватності заходів у сфері цивільного захисту обумовлюють актуальність наукової задачі розроблення підходів та моделей щодо визначення штатної чисельності оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС України.

Аналіз літератури. Критерії утворення оперативно-рятувальних підрозділів визначено у постанові Кабінету Міністрів України [1]. В [2] викладені результати аналізу викликів оперативно-рятувальних підрозділів.

Питання застосування математичних методів для вирішення організаційно-управлінських задач розглядалися в [3 – 4]. В [5] розглянуто підхід щодо визначення штатної чисельності гарнізонів оперативно-рятувальної служби для щільності населення від 1000 до 6000 осіб на км² та за інтегральним показником «кількість викликів на 10 тис. населення за рік» від 6 до 20 викликів.

Питання моделювання достатності сил для територій з невеликою щільністю населення та напруженістю оперативної обстановки не розглядалися.

Метою статті є створення моделей для визначення ймовірностей залучення підрозділів оперативно-рятувальної служби для випадку низької інтенсивності викликів.

Виклад основного матеріалу

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 кількості особового складу оперативно-рятувальних підрозділів.

На сучасному етапі кількість депо та число основних автомобілів визначається нормативно [1, 6].

Результати проведених обчислень вказують на суттєву 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 [6] є надмірною. Розмах коливань кількості основної техніки дорівнює більш ніж 25%, також у [6] відсутні роз'яснення щодо визначення необхідної кількості відділень для забезпечення належного рівня реагування на виклики, що у свою чергу вимагає використовувати підходи визначення штатної чисельності оперативно-рятувальних підрозділів на основі моделювання їх діяльності.

Світовий досвід побудови оперативно-рятувальних служб свідчить, що підхід нормування чисельності служб спираючись тільки на кількість населення [6] 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 суб'єктів, що обумовлює об'єктивну необхідність формалізації визначення кількісних параметрів чергових сил.

Враховуючи обмеження за критерієм часу прибуття підрозділів на виклик, закономірності виникнення деструктивних подій на території, визначальним для оцінки напруженості оперативної обстановки

ки для підрозділів оперативно-рятувальної служби є не кількість населення, а його щільність.

Враховуючи стохастичну природу потоків викликів та ліквідації пожеж, виникнення та ліквіда-

цію пожеж можна розглядати як випадковий Марківський процес. Граф станів коли можливо виникнення до трьох викликів з залученням до трьох відділень представлено на рис. 1.

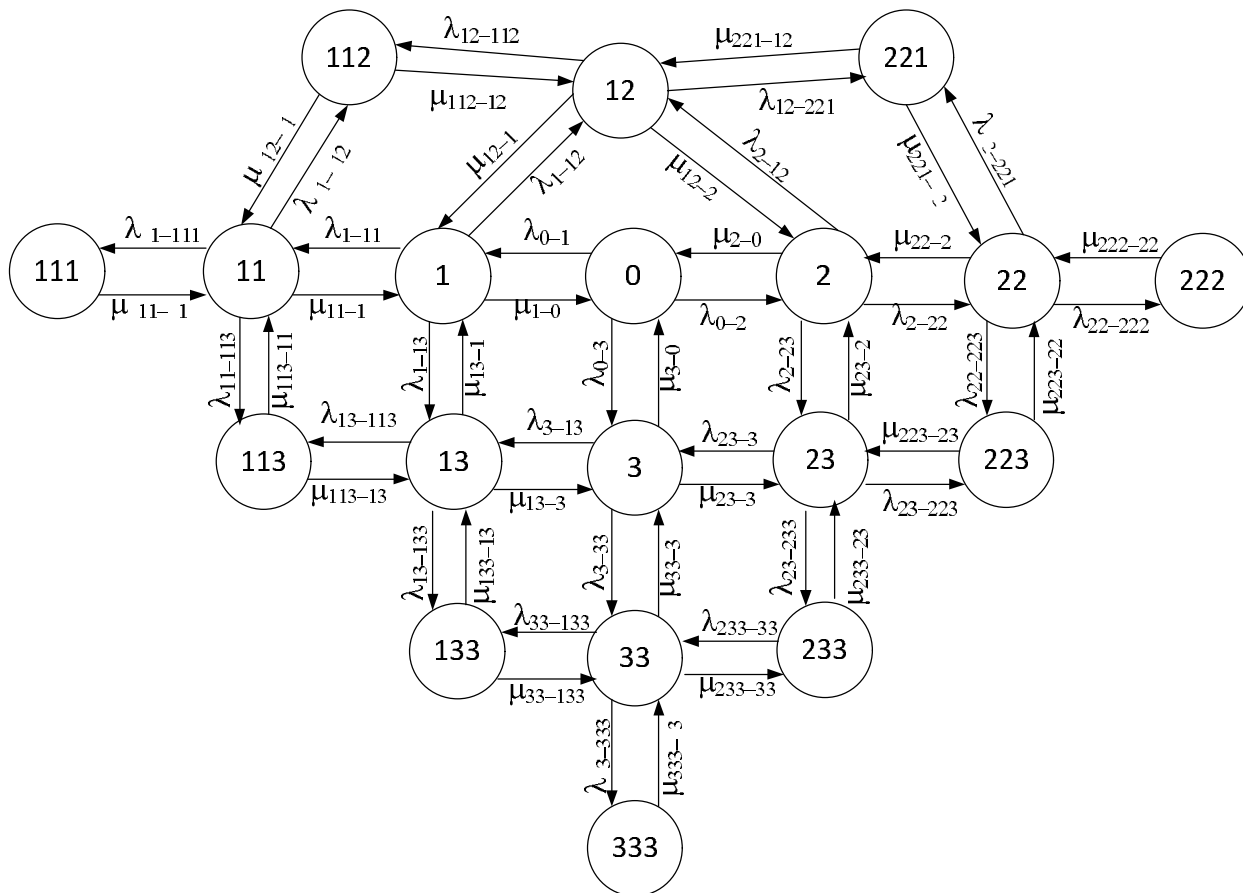


Рис. 1. Граф станів залучення підрозділів

На рис. 1 цифри в колі відповідають стану з певною кількістю відкликів та кількістю залучених відділень.

Наприклад, цифри у колі 123 означають, що це стан, коли підрозділи ліквідують надзвичайні події на трьох викликах із залученням одного, двох та трьох відділень відповідно; при цьому:

λ – інтенсивність переходу системи в стан $i+1$ виклик;

μ – інтенсивність переходу системи в стан $i+1$ виклик.

Рівняння Колмогорова для представленого на рис. 1 графу мають такий вигляд:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \frac{dp_{111}(t)}{dt} &= -\mu \cdot p_{111}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{11}(t); \\ \frac{dp_{112}(t)}{dt} &= -2\mu \cdot p_{112}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{11}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{12}(t); \\ \frac{dp_{221}(t)}{dt} &= -2\mu \cdot p_{221}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{12}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{22}(t); \\ \frac{dp_{223}(t)}{dt} &= -2\mu \cdot p_{223}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{22}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{23}(t); \\ \frac{dp_{233}(t)}{dt} &= -2\mu \cdot p_{233}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{23}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{33}(t); \\ \frac{dp_{222}(t)}{dt} &= -\mu \cdot p_{222}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{22}(t); \\ \frac{dp_{333}(t)}{dt} &= -\mu \cdot p_{333}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{33}(t); \\ \frac{dp_{113}(t)}{dt} &= -2\mu \cdot p_{113}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{13}(t) + \\ &\quad + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{11}(t); \\ \frac{dp_{133}(t)}{dt} &= -2\mu \cdot p_{133}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{33}(t) + \\ &\quad + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{13}(t); \\ p_{23}(t) &= 1 - p_1(t) - p_0(t) - p_2(t) - p_{11}(t) - \\ &\quad - p_{22}(t) - p_{13}(t) - p_3(t) - p_{33}(t) - p_{12}(t) - \\ &\quad - p_{111}(t) - p_{112}(t) - p_{221}(t) - p_{222}(t) - \\ &\quad - p_{223}(t) - p_{333}(t) - p_{113}(t) - p_{133}(t) - p_{233}(t). \end{aligned}$$

При $t \rightarrow \infty$ рівняння Колмогорова мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \mu \cdot p_1(t) + \mu \cdot p_2(t) + \mu \cdot p_3(t) - \\ - (\lambda \cdot \kappa_2 + \lambda \cdot \kappa_1 + \lambda \cdot \kappa_3) p_0(t) &= 0; \\ -\mu \cdot p_1(t) - \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_1(t) - \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_1(t) - \\ - \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_1(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_0(t) + \\ + \mu \cdot p_{12}(t) + \mu \cdot p_{11}(t) + \mu \cdot p_{13}(t) &= 0; \\ -\mu \cdot p_2(t) - \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_2(t) - \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_2(t) - \\ - \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_2(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_0(t) + \mu \cdot p_{12}(t) + \\ + \mu \cdot p_{22}(t) + \mu \cdot p_{23}(t) &= 0; \\ -\mu \cdot p_{11}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_1(t) &= 0; \\ -\mu \cdot p_3(t) - \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_3(t) - \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_3(t) - \\ - \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_3(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_0(t) + \mu \cdot p_{13}(t) + \\ + \mu \cdot p_{23}(t) + \mu \cdot p_{33}(t) &= 0; \\ -\mu \cdot p_{22}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_2(t) &= 0; \\ -\mu \cdot p_{33}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_3(t) &= 0; \\ -2\mu \cdot p_{13}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_1(t) + \\ + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_3(t) &= 0; \\ -2\mu \cdot p_{12}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_1(t) + \\ + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_2(t) &= 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -\mu \cdot p_{111}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{11}(t) &= 0; \\ -2\mu \cdot p_{112}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{11}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{12}(t) &= 0; \\ -2\mu \cdot p_{221}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{12}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{22}(t) &= 0; \\ -2\mu \cdot p_{223}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{22}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{23}(t) &= 0; \\ -2\mu \cdot p_{233}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{23}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{33}(t) &= 0; \\ -\mu \cdot p_{222}(t) + \lambda \cdot \kappa_2 \cdot p_{22}(t) &= 0; \\ -\mu \cdot p_{333}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{33}(t) &= 0; \\ -2\mu \cdot p_{113}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{13}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{11}(t) &= 0; \\ -2\mu \cdot p_{133}(t) + \lambda \cdot \kappa_1 \cdot p_{33}(t) + \lambda \cdot \kappa_3 \cdot p_{13}(t) &= 0; \\ p_{23}(t) &= 1 - p_1(t) - p_0(t) - p_2(t) - p_{11}(t) - \\ &\quad - p_{22}(t) - p_{13}(t) - p_3(t) - p_{33}(t) - p_{12}(t) - \\ &\quad - p_{111}(t) - p_{112}(t) - p_{221}(t) - p_{222}(t) - \\ &\quad - p_{223}(t) - p_{333}(t) - p_{113}(t) - p_{133}(t) - p_{233}(t). \end{aligned}$$

Рішення такої, отриманої в стаціонарному режимі системи, має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} p_0 &= \frac{\mu^3}{C1}; \\ p_1 &= \frac{\lambda \cdot \kappa_1 \cdot \mu^2}{C1}; \\ p_2 &= \frac{\lambda \cdot \kappa_2 \cdot \mu^2}{C1}; \\ p_3 &= \frac{\lambda \cdot \kappa_3 \cdot \mu^2}{C1}; \\ p_{12} &= \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_1 \cdot \mu}{C1}; \\ p_{11} &= \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_1 \cdot \mu}{C1}; \\ p_{22} &= \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_2^2 \cdot \mu}{C1}; \\ p_{33} &= \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_3^2 \cdot \mu}{C1}; \\ p_{13} &= \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_3 \cdot \mu}{C}; \\ p_{23} &= \frac{\lambda^2 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \mu}{C}; \\ p_{111} &= \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1^3}{C1}; \\ p_{112} &= \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1^2 \cdot \kappa_2}{C1}; \\ p_{113} &= \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1^2 \cdot \kappa_3}{C1}; \\ p_{133} &= \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_3^2}{C1}; \\ p_{221} &= \frac{\lambda^3 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2^2}{C1}; \end{aligned}$$

$$P_{222} = \frac{\lambda^3 \cdot k_2^3}{C1};$$

$$P_{223} = \frac{\lambda^3 \cdot k_3 \cdot k_2^2}{C1};$$

$$P_{133} = \frac{\lambda^3 \cdot k_2 \cdot k_3^2}{C1};$$

$$P_{333} = \frac{\lambda^3 \cdot k_3^3}{C1}.$$

де k_1, k_2, k_3 – ймовірності залучення на виклику одного, двох та трьох відділень відповідно;

$$\begin{aligned} C1 = & \lambda^3 \cdot k_1^3 + \lambda^3 \cdot k_1^2 \cdot k_2 + \lambda^3 \cdot k_1^2 \cdot k_3 + \lambda^3 \cdot k_2^2 \cdot k_1 + \\ & + \lambda^3 \cdot k_3^2 \cdot k_1 + \lambda^3 \cdot k_2^3 + \lambda^3 \cdot k_2^2 \cdot k_3 + \lambda^3 \cdot k_3^2 \cdot k_2 + \\ & + \lambda^3 \cdot k_3^3 + \lambda^2 \cdot k_1^2 \cdot \mu + \lambda^2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \mu + \\ & + \lambda^2 \cdot k_1 \cdot k_3 \cdot \mu + \lambda^2 \cdot k_2^2 \cdot \mu + \lambda^2 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \mu + \\ & + \lambda^2 \cdot k_3^2 \cdot \mu + \lambda \cdot k_1 \cdot \mu^2 + \lambda \cdot k_2 \cdot \mu^2 + \\ & + \lambda \cdot k_3 \cdot \mu^2 + \mu^3. \end{aligned}$$

Кількість станів в яких можуть перебувати сили оперативно-рятувальної служби може бути нескінченною, відповідно розгляд обмеженої кількості станів, вносить відповідну похибку в точність визначення ймовірностей.

Порівняльний аналіз результатів розрахунку ймовірностей за запропонованою моделлю з результатами розрахунку ймовірностей, розглядаючи реагування підрозділів оперативно-рятувальної служби, як систему масового обслуговування, дозволив встановити, що похибка визначення ймовірностей складає від 10^{-3} для p_0 до 10^{-5} для p_{111} .

Запропонована модель дозволяє визначити ймовірності залучення k^2 відділень.

Висновки

Отримана модель дозволяє на відміну від підходу [7] оперувати ймовірностями залучення k^2 відділень, що дозволяє в умовах низької інтенсивності

викликів приймати рішення по визначенню штатної чисельності гарнізонів з більш високим рівнем адекватності.

Список літератури

1. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини)» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-%D0%BF>.
2. Брушлинский Н.Н. О вероятностном характере потока вызовов пожарных подразделений / Н.Н. Брушлинский, Г.К. Брушлинская, Л.Ю.Тяжелова // Труды Высшей школы МВД СССР. – М.: 1972., – Вып. 33. – С.214-218.
3. Брушлинский Н.Н. Применение экономико-математических методов для решения организационно-управленческих задач противопожарной службы / Н.Н. Брушлинский // Вопросы экономики в пожарной охране. – М., 1972. – С. 138-145.
4. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы / Брушлинский Н.Н. – М.: Стройиздат, 1981. – 95 с.
5. Модель визначення чисельності особового складу оперативно-рятувальних підрозділів / О.М. Соболь та ін. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – Вип. 22. – С. 130-136.
6. ДБН 360-92** "Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kga.gov.ua/files/doc/normy-derjavy/dbn/Mistobuduvannja-Planuvannja-i-zabudovamiskyh-i-sil'skyh-poselen-DBN-360-92.pdf>.
7. Проблемно-ориентированные имитационные системы для автоматизированного проектирования и стратегического управления экстренными и аварийно-спасательными службами городов / Е.М. Алехин и др. // Устойчивое развитие и проблемы безопасности. Вестник Российской академии естественных наук. – М., 2012. – Вып. 2012/3. – С. 27-34.

Надійшла до редколегії 15.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ОПЕРАТИВНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ СЛУЖБЫ

А.С. Рогозин, Р.С. Малежик

В статье представлена модель оперативной деятельности подразделений оперативно-спасательной службы, рассматривая возникновение и ликвидацию вызовов, как случайный процесс.

Ключевые слова: модель, вероятность, оперативно-спасательная служба, ликвидация, реагирование.

ANALYSIS OF THE OCCURRENCE AND ELIMINATION OF EMERGENCY SITUATIONS ON THE TERRITORY OF KIROVOGRAD REGION

A.S. Rogozin, R.S. Malezhik

The article presents a model of operational units of the rescue service, considering the appearance and elimination of challenges as a random process.

Keywords: model, probability, rescue service, liquidation, response.