

*В.О. Самарін, викладач, НУЦЗУ,  
І.М. Неклонський, к.військ.н., ст. викладач, НУЦЗУ,  
Д.Л. Соколов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

## **МОДЕЛЬ ГОТОВНОСТІ СКЛАДОВИХ РЯТУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДО ДІЙ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ**

(представлено д-ром техн. наук Соловйом В.В.)

Представлена модель оцінки готовності рятувальної системи до дій за призначенням. Представлені алгоритми визначення критеріїв готовності до проведення рятувальних робіт одним рятувальником та рятувальником в складі рятувальної групи.

**Ключові слова:** рятувальна система, готовність до дій, рятувальна група.

**Постановка проблеми.** Аналіз впливу наслідків надзвичайних ситуацій піднімає проблему підтримання в належному стані рятувальної системи. Рятувальні системи активуються в надзвичайних ситуаціях, розроблені для рятування людей і захисту об'єктів і територій. У них входять навчені фахівці, які використовують необхідне технічне оснащення.

Ефективність рятувальних систем у багатьох випадках залежить від часу, що пройшов з моменту початку аварії до початку проведення рятувальних операцій. При цьому необхідно враховувати, що для рятувальної системи необхідний час для її відновлення, мобілізації й прибуття до місця небезпеки.

Так як час і простір (область) загрози генеруються випадковим чином, то існує проблема щодо оцінювання якості рятувальної системи і поліпшення динаміки її функціонування виходячи з оцінки готовності її до дій за призначенням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [1-3] представлені математичні моделі функціонування експлуатаційного модуля, що використовується в рятувальних системах, в різних експлуатаційних (робочих) станах, а саме: при використанні для проведення аварійно-рятувальних робіт, перебування в стані готовності, діагностування, обслуговування в робочому стані і т.д. Але для комплексної оцінки мобілізаційної готовності рятувальних систем в цілому необхідно врахувати крім розглянутого експлуатаційного модуля використовуваний людський ресурс (рятувальників), для якого характерне функціонування в одному з режимів і перехід до інших.

**Постановка завдання та його вирішення.** Процес мобілізації рятувальної системи до належного стану і місця дозволяє здійснити рятувальну операцію різними способами, залежними від організаційної

структури й структури дій. Загалом, процес можна розділити на наступні підпроцеси: мобілізація рятувальних формувань до стану готовності до дій за призначенням, підготовка рятувальної системи до стану готовності до дій за призначенням, переміщення системи до зони дії.

Для визначення якості рятувальної системи необхідно змоделювати процес мобілізації рятувальної системи, виходячи з оцінки та аналізу готовності до дій за призначенням.

Нехай наявність одного фахівця рятувального формування вимірюється асимптотичною ймовірністю  $P_d$ , при  $t \rightarrow \infty$  заходу з його участю, що в будь-який час в даному часовому проміжку знаходиться в режимі очікування до дій за призначенням і можуть бути мобілізовані в рятувальній системі. Ми можемо визначити ймовірність, відображаючи процес фахівця з використанням моделі Марківського процесу.

Припустимо наступне:

1. Кожна оперативна обстановка, в якій є фахівець у відповідному часовому відрізку, може бути віднесена до відповідного робочого стану, що є елементом кінцевої множини  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, D}$ .

2. Всі переходи між станами індексів фахівців  $i, j = \overline{1, D}$  відбуваються покроково.

3. Часи перебування фахівця в довільному стані  $d_i$  до переходу в інший стан  $d_j$  - це взаємно незалежні випадкові величини  $T_{ij}$  ймовірнісних розподілів  $F(t)_i$ , що не змінюють свій характер в часі.

Вищезазначені припущення відносяться до функціонування фахівця в режимі реальної рятувальної системи і можуть бути виконані для прийнятого діапазону допуску при створенні операційного простору й безлічі станів процесу і під час фіксації фахівця між різними станами.

Задля того, щоб визначити наявність одного, усередненого по набору фахівця, необхідно знати:

- набір умов експлуатації  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, D}$ ;
- набір умовних очікуваних значень  $\bar{t}_{ij}$  випадкових величин часу перебування фахівця в стані «i» перед переходом у стан «j»;
- матрицю  $P = [P_{ij}] i, j = \overline{1, D}$ , елементи якої  $P_{ij}$  представляють собою умовні ймовірності переходу фахівця зі стану  $d_i$  до стану  $d_j$ .

В якості прикладу, експлуатаційними станами фахівця можуть бути такі стани:

- перебування в рятувальній системі в готовності до дій за призначенням;
- реалізації рятувальної функції;
- перебування за місцем проживання в межах дії засобів зв'язку;

- перебування в біологічній недоступності (хвороба), у відпустці або віддаленій місцевості і т.д.

Оцінкою значення  $P_{ij}$  може бути відношення

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i},$$

де  $n_{ij}$  - кількість переходів зі стану фахівця  $d_i$  в інший стан  $d_j$ ;  $n_i$  - кількість виходів фахівця зі стану  $d_i$ .

Проміжним кроком для визначення наявності є визначення асимптотичної ймовірності перебування фахівця в стані  $d_i$  [2]

$$P_{d_i} = \frac{\Pi_j \bar{t}_i}{\sum_{j=1}^D \Pi_j \bar{t}_j} \quad (1)$$

де  $P_{d_i}$  - асимптотична ймовірність перебування фахівця в стані  $d_i$  при  $t \rightarrow \infty$ ;  $\bar{t}_i$  - безумовне математичне очікування випадкової величини часу перебування фахівця в стані  $d_i$ .

$\Pi_i$  - стаціонарна ймовірність ланцюга Маркова

$$\bar{t}_i = \sum_{j=1}^D P_{ij} \bar{t}_{ij}; \quad (2)$$

$$\Pi_i = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^D D_j} \quad (3)$$

де  $D_i$  - частина основної матриці  $D = 1 - D$ , що отримана шляхом видалення  $i$ -го стовпця і  $i$ -го рядка;  $\Pi$  - одинична матриця.

Описану вище множину експлуатаційних станів фахівця  $D = \{d_i\}$  можна розділити на дві непересічних підмножини  $D_d$  та  $D_n$ , де  $D_d$  - підмножина станів наявності, в яких фахівець може брати участь у рятувальних операціях;  $D_n$  - підмножина станів наявності, таких як хвороба, необхідний відпочинок і т.п.

Міра наявності фахівця  $P_d$  - це сума ймовірностей  $P_{d_i}$  для станів, що належать підмножині  $D_d$

$$P_d = \sum_{d_i \in D_d} P_{d_i} \quad (4)$$

Значення  $P_d$ , де  $P_d \in [0,1]$ , що визначає ймовірність в будь-який час  $i$ -го фахівця підходить до приєднання до рятувальної операції.

Фахівець, що використовується в рятувальній системі, може функціонувати таким чином:

1. У заданому часовому інтервалі виконує рятувальні функції, а в інший час в рятувальних діях участі не приймає.

2. Може періодично перебувати в рятувальній системі й може бути мобілізований в будь-який час для участі в рятувальних діях, наприклад, у складі добровільних підрозділів.

У першому випадку процес мобілізації фахівця не відбувається, і ймовірність участі у складі чергової зміни дорівнює  $P_d$ , що визначається зі співвідношення (4),  $g = P_d$ .

У другому випадку, мобілізаційна готовність є характеристичною функцією ймовірності  $g(t_d)$  випадкової змінної  $T_d$  - часу переходу фахівця з виділеної підмножини робочих станів до стану здатності до виконання дій.

Виділеною підмножиною робочих станів тут є підмножина  $D_m \subset D_d$  таких станів, у яких фахівець перебуває за межами рятувальної системи. Припустимо, що в часі  $t_d$ , що нас задовольняє, він перейде до стану здатності до дій за призначенням і буде брати участь у рятувальній операції. Характеристика мобілізаційної готовності визначається зі співвідношення

$$g(t_d) = \sum_{d_i \in D_m} P_{d_i} F_{d_i}(t_d) + P_{d_g} \quad (5)$$

де  $P_{d_i}$  - асиметрична ймовірність перебування фахівця в стані  $d_i$ , яка визначається зі співвідношення (1);  $F_{d_i}$  - розподіл випадкової величини  $T_{d_i}$  - часу переходу фахівця зі стану  $d_i$  до стану  $d_g$ ;  $d_g$  - стан готовності до дій в рятувальній системі;  $P_{d_g}$  - асимптотична ймовірність перебування фахівця в стані  $d_g$ ;  $D_m$  - підмножина таких станів наявності, в яких фахівець буде знаходитися поза системою участі в процесі мобілізації.

Робочі стани, що належать підмножині  $D_m$ , є станами мобілізаційної готовності.

Формування, що складається з однакових фахівців, які діють у рятувальній системі, є найбільш поширеною структурою порогового типу, яка з точки зору готовності до дій за призначенням може бути однозначно описана трьома параметрами  $\langle k, n, g \rangle$ , де  $k$  - поріг готов-

ності формування до дій (мінімальна кількість фахівців у формуванні),  $n$  - кількість фахівців у формуванні,  $g$  - готовність усередненого фахівця у формуванні.

У першому випадку, коли фахівець знаходиться в стані чергування в системі,  $g = P_d$ .

У другому випадку значення  $g$  виражено у вигляді функції  $g(t_d)$ , залежної від нормативу часу  $t_d$ .

Мобілізаційна готовність формування однакових фахівців у структурі параметрів  $\langle k, n, g \rangle$  вимірюється ймовірністю  $(P_k / n, g /)$  мобілізації рятувального формування в часі  $t_d$  в кількості принаймні від  $k$  до  $n$  фахівців.

Ймовірність виражає «хвіст» функції розподілу і може бути визначена зі співвідношення

$$P_k^{(n,g)}(t_g) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} g(t_g)^i [1 - g(t_g)]^{n-i} \quad (6)$$

Якщо фахівці в формуванні неоднакові через параметр готовності  $g(t_g)$ , але кожен має індивідуальні характеристики готовності  $g_i$ , то залежність (6) буде більш складною і мати форму

$$P_k^{(n,g_i)} = \sum_{i=k}^n \sum_{\Delta_i} \prod_{j=1}^i g_j \prod_{j=i+1}^n (1 - g_j) \quad (7)$$

де  $\Delta_i = \{S_1, S_2, \dots, S_j\}$  - набір  $i$ -елементових комбінацій фахівців з кількості формування  $n$ .

Аналіз функції  $P_k^{(n,g)}(t_g)$ , враховуючи різні параметри, проводився в [1]. Мобілізація груп рятувальників цілої рятувальної системи включає в себе ряд спеціалізованих груп, які найбільш часто утворюють послідовну структуру готовності до дій за призначенням. Мобілізаційна готовність системи визначає потім продукт готовності  $i$ -х формувань

$$P_{s,k}^{(n,g)} = \prod_{j=1}^N P_{j,k}^{(n,g)} \quad (8)$$

де  $P_{s,k}^{(n,g)}(t_g)$  - міра готовності людських ресурсів рятувальної системи;

$P_{j,k}^{(n,g)}(t_g)$  - міра мобілізаційної готовності  $j$ -го формування фахівців.

**Висновки.** Представлена математична модель функціонування як одного рятувальника, так і рятувальної групи як важливих складових рятувальної системи в різних режимах готовності до дій за призначенням. Дана модель дозволяє оцінювати ефективність використання рятувального ресурсу, що є необхідним при складанні оперативних документів щодо реагування на надзвичайні ситуації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Żurek J. Niezawodność nadmiarowych systemów technicznych wyposażonych w urządzenia zabezpieczające jednorazowego użytku [Текст] // Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. – Radom, Instytut Technologii Eksploatacji, Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu. – 1996. - z. 3. - Str. 391-400.

2. Żurek J. Metody oceny systemów ratowniczych [Текст] / J. Żurek // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. Józefów, Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej im. Józefa Tuliszkowskiego. Józefów, Państwowy Instytut Badawczy. – 2006. - Tom № 2/4. - Strony 23-31.

3. Самарин В.А. Модель готовности спасательных систем, использующих техническое оснащение для проведения аварийно-спасательных работ [Текст] / В.А. Самарин, Я.С. Сокол // Проблемы надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Харків, 2015. – Вип. 21. – С. 76-82.

В.А. Самарин, И.М. Неклонский, Д.Л. Соколов

**Модель готовности составляющих спасательной системы к действиям по назначению**

Представлена модель оценки готовности спасательной системы к действиям по назначению. Представлены алгоритмы определения критериев готовности к проведению спасательных работ одним спасателем и спасателем в составе спасательной группы.

**Ключевые слова:** спасательная система, готовность к действиям, спасательная группа.

V.O. Samarin, I.M. Neklonsky, D.L. Sokolov

**Model of the duty Rescue Systems components for actions as intended**

There is presented an assessment model of the duty rescue system for actions as intended. The algorithms for determine criteria of the duty rescue system to perform the rescue works by one rescuer and rescue as part of the group are presented.

**Keywords:** Rescue System, mobilization readiness, rescue team.