

*В.А. Самарин, преподаватель, НУГЗУ,
Я.С. Сокол, преподаватель, НУГЗУ*

МОДЕЛЬ ГОТОВНОСТИ СПАСАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЮЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

(представлено д-ром техн. наук Тарасенко А.А.)

Представлена математическая модель оценивания готовности спасательной системы. Представлены алгоритмы определения критериев готовности к проведению спасательных работ с учетом укомплектования спасательной группы подготовленным техническим оборудованием. В качестве меры готовности взята вероятность достижения или поддержания определенных состояний.

Ключевые слова: спасательная система, мобилизационная готовность, спасательная группа, техническое оснащение, эксплуатационный модуль.

Постановка проблемы. Для успешного реагирования и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций необходимо поддержание в надлежащем состоянии спасательной системы. Спасательные системы активируются в чрезвычайных ситуациях, разработаны для спасения людей и защиты объектов и территорий. В них входят спасатели, использующие необходимое техническое оснащение, зачастую очень сложное в использовании.

Эффективность спасательных систем во многих случаях зависит от времени, прошедшего с момента начала аварии до начала проведения аварийно-спасательных работ. Так как время и место возможного возникновения опасной ситуации генерируются случайным образом, должно иметь место время для восстановления системы, необходимости мобилизации и прибытия до места опасности.

Процесс мобилизации спасательной системы до должного состояния и места позволяет осуществить спасательную операцию разными способами, зависимыми от организационной структуры и структуры действий. Для определения качества спасательной системы и улучшения динамики ее функционирования необходимо смоделировать процесс мобилизации спасательной системы с точки зрения оценки и анализа готовности к действиям.

Анализ последних исследований и публикаций. В [1-3] представлены математические модели функционирования как одного спасателя, так и спасательной группы как важных составляющих спасательной системы в режимах готовности к проведению аварийно-спасательных работ, реагировании на аварийную ситуацию, пребыва-

ния по месту жительства в пределах действия средств связи, пребывания в биологической недоступности (болезнь), в отпуске или в отдаленной местности. Для оценивания мобилизационной готовности спасательных систем в целом необходимо учесть кроме используемого человеческого ресурса (спасателей) эксплуатационный модуль.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является математическое моделирование готовности спасательных систем с учетом использования технического оснащения, для которого характерно функционирование в одном из установленных эксплуатационных режимов и возможен переход в другие.

Техническое оснащение, используемое в спасательных системах, так же, как и спасатели [2,3], функционирует в разных, соответствующих для данного рода оснащения, эксплуатационных (рабочих) состояниях.

Выделим следующие эксплуатационные (рабочие) состояния:

- использование при проведении аварийно-спасательных работ;
- пребывание в состоянии готовности;
- диагностировка и обслуживание оснащения в рабочем состоянии;
- диагностировка и ремонт неработающего оснащения;
- ожидание диагностировки и обслуживания и т.п.

Эксплуатационные состояния образуют конечное множество $E = \{e_i\}, i = \overline{1, E}$.

Множество E можно поделить на следующие непересекающиеся подмножества:

E_0 - готовность к немедленным действиям в требуемом варианте использования (состояние оперативной готовности);

E_p - начальная готовность определенной степени, в которой устройство находится в рабочем состоянии или нуждается в некоторой работе с целью проведения диагностики или ремонта для соответствующего варианта использования (состояние начальной готовности);

E_n - состояние неготовности к спасательным действиям.

Наличие одного вида оснащения измеряется асимптотической вероятностью P_d при $t \rightarrow \infty$ действия при его использовании.

В [3] было предположено следующее:

А. Каждая оперативная обстановка, в которой используется оснащение в соответствующем временном отрезке, может быть отнесена к соответствующему рабочему состоянию d_i , что является элементом конечного множества $D = \{d_i\}, i = \overline{1, D}$.

В. Все переходы между состояниями индексов оснащения $i, j = \overline{1, D}$ происходят пошагово.

С. Времена пребывания оснащения в произвольном состоянии d_i до перехода в другое состояние d_j - это взаимно независимые случайные величины T_{ij} вероятностных распределений $F(t)_i$, не изменяющие свой характер во времени.

Чтобы определить наличие одного, усредненного по набору оснащения, необходимо знать:

- набор условий эксплуатации $D = \{d_i\}, i = \overline{1, D}$;
- набор условных ожидаемых значений \bar{t}_{ij} случайных величин времени пребывания специалиста в состоянии «i» перед переходом в состояние «j»;
- матрицу $P = [P_{ij}]_{i, j = \overline{1, D}}$, элементы которой P_{ij} представляют собой условные вероятности перехода оснащения из состояния d_i до состояния d_j .

Оценкой значения P_{ij} может быть отношение

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

где n_{ij} - количество переходов из состояния d_i в состояние d_j ; n_i - количество выходов оснащения из состояния d_i .

Асимптотическая вероятность пребывания оснащения в состоянии d_i вычисляется по формуле [2]:

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

где P_{d_i} - асимптотическая вероятность пребывания оснащения в состоянии d_i при $t \rightarrow \infty$; \bar{t}_i - безусловное математическое ожидание случайной величины времени пребывания оснащения в состоянии d_i .

Π_i - стационарная вероятность цепи Маркова.

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

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

где: D_i - часть основной матрицы $D = 1 - P$, полученной путем удаления i -го столбца и i -й строки.

Описанное выше, множество эксплуатационных состояний $D = \{d_i\}$ можно разделить на два непересекающихся подмножества D_d и D_n , где: D_d - подмножество состояний, в которых оснащение может быть использовано при проведении аварийно-спасательных работ; D_n - подмножество состояний таких как подготовка к использованию, ремонт и т.п.

Мера наличия оснащения P_d - это сумма вероятностей P_{d_i} для состояний, принадлежащих подмножеству D_d ,

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

Модель (4) для оснащения можно представить в виде:

$$P_0 = \sum_{e_j \in E_0} P_{e_j} , \quad (5)$$

где P_0 - мера операционной готовности оборудования; P_{e_j} - асимптотическая вероятность пребывания оборудования в состоянии e_j при $t \rightarrow \infty$, определяемая из соотношения (1), или:

$$P_p = \sum_{e_j \in E_p} P_{e_j} , \quad (6)$$

где: P_p - мера начальной готовности оборудования.

Переход оснащения из любого состояния $e_i \in E$ в состояние $e_j \in E$ наступает после полного выполнения функций при соответствующем функционировании.

Время перехода из состояния устройства $e_i \in E_p$ в состояние $e_j \in E_0$ является случайной величиной $T_{ij}^{(r)}$, зависимой от степени укомплектования группы спасателей, выполняющих обслуживание. Степень укомплектования r - это количество спасателей в спасательной группе. Условное распределение плотности вероятности случайной переменной $T_{ij}^{(r)}$ при r -й степени укомплектованности группы является $f_{ij}^{(r)}(t_u)$, а ожидаемая величина $\bar{t}_{ij}^{(r)}$.

Условная вероятность службы или ремонта устройства для пары состояний e_i и e_j во времени t_u при r -ой степени укомплектованности группы дает функцию распределения $F_{ij}^{(r)}(t_u)$.

Условная вероятность ремонта оснащения из произвольного состояния e_i в состояние готовности e_{un} во времени t_u при r -ой степени

укомплектованности команды описывает функция распределения $F_u^{(r)}(t_u)$.

$$F_u^{(r)}(t_u) = \sum_{e_j \in E_p} P_{e_j} F_{ij}^{(r)}(t_u). \quad (7)$$

Группа спасателей в структуре готовности типа $k \times n$ [3], обслуживающая техническое оснащение, создает в данной спасательной системе эксплуатационный модуль. Его мобилизационная готовность измеряется вероятностью мобилизации группы спасателей и очистки оснащения в момент времени t . Фактическая продолжительность обоих этих процессов определяет сумму случайных величин времени мобилизации группы спасателей и времени обработки технологического оснащения.

Мера мобилизационной готовности $G_i(t)$ i -го эксплуатационного модуля, состоящего из группы спасателей с параметрами $\langle k, u, g \rangle$ и связанных с ними техническим оснащением, определяется из соотношения:

$$G_i(t) = \sum_{r=k}^n P_{n_j, k_j}^{(r)} F_j^{(r)}(t), \quad (8)$$

где $P_{n_j, k_j}^{(r)}$ - вероятность мобилизации r спасателей в i -той спасательной группе при условии, что был достигнут готовый порог готовности от n спасателей, рассчитанный по формуле (3) [1]:

$$P_{n_j, k_j}^{(r)} = \frac{\binom{n}{r} \int_0^{\infty} g(t_d)^r [1 - g(t_d)]^{n-r} dt}{\sum_{m=k}^n \binom{n}{m} \int_0^{\infty} g(t_d)^m [1 - g(t_d)]^{n-m} dt}. \quad (9)$$

$F_i^{(r)}(t)$ - распределение случайной величины общего времени мобилизации группы до количества r спасателей и очистка оборудования в i -й модели.

Распределение $F_i^{(r)}(t)$ определяет интегралы свертки:

$$F_i^{(r)}(t) = F_{d,i}^{(r)}(t_d) \cdot F_{u,i}^{(r)}(t_u), \quad (10)$$

где $F_{d,i}^{(r)}(t_d)$ - распределение случайной величины времени мобилизации в i -ой спасательной группе с параметрами $\langle k, n, g \rangle$ r спасателей, дана зависимость:

$$F_{d,i}^{(r)}(t_d) = \frac{\int_0^{t_d} g(t)^r [1 - g(t)]^{n-r} dt}{\int_0^{\infty} g(t)^r [1 - g(t)]^{n-r} dt}, \quad (11)$$

где $F_{u,i}^{(r)}(t_u)$ - распределение случайной величины времени обработки технологического оснащения i -ой спасательной группы при r -ой степени укомплектования.

Используя операцию свертки можно записать:

$$F_i^{(r)}(t) = \int_0^t F_{d,i}^{(r)}(t - t_u) dF_{u,i}^{(r)}(t_u). \quad (12)$$

В случае, когда команда спасателей находится на дежурстве и не подлежит мобилизации во времени спасательной операции:

$$P_{n,k}^{(r)} = \frac{\binom{n}{r} P_d^r (1 - P_d)^{n-r}}{\sum_{m=k}^n \binom{n}{m} P_d^m (1 - P_d)^{n-m}}, \quad (13)$$

где P_d - мера наличия специалиста, заданной моделью (4), и:

$$F_{d,i}^{(r)}(t_d) = 1. \quad (14)$$

Мера мобилизационной готовности в этом случае определяется из соотношения:

$$G_i(t) = \sum_{r=k}^n P_{n_i, k_i}^{(r)} F_{u,i}^{(r)}(t_u). \quad (15)$$

Готовность спасательной системы, составленной из N различных спасательных групп, зависит от структуры, которую группы создают в системе. Например, для спасательной системы с последовательной структурой готовности команд, характеристика мобилизационной готовности $G(t)$ будет предоставлена соотношением:

$$G(t) = \prod_{i=1}^N G_i(t). \quad (16)$$

Выводы. Представленная модель оценки мобилизационной готовности спасательных систем учитывает не только человеческий ресурс, но и эксплуатационный модуль в целом.

При включении различных спасательных систем в общую систему реагирования использование данной модели позволяет разрабатывать компьютерные алгоритмы для проведения быстрого анализа и, следовательно, контроля готовности данных систем к функционированию в различных режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Żurek J. Metoda oceny systemów ratowniczych w lotnictwie / J. Żurek // Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 32. – Transport, Warszawa. – 1993. – 242 p.

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

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

В.О. Самарін, Я.С. Сокол

Модель готовності рятувальних систем, що використовують технічне оснащення для проведення аварійно-рятувальних робіт

Представлена математична модель оцінювання готовності рятувальної системи. Представлені алгоритми визначення критеріїв готовності до проведення рятувальних робіт, з урахуванням укомплектування рятувальної групи підготовленим технічним обладнанням. В якості міри готовності взята ймовірність досягнення або підтримки певних станів.

Ключові слова: рятувальна система, мобілізаційна готовність, рятувальна група, технічне оснащення, експлуатаційний модуль.

V.O. Samarin, Ya. S. Sokol

Assessment of the duty Rescue Systems using technical equipment for rescue operations

There is presented an assessment model of the duty rescue system. The algorithms for determine criteria of the duty rescue system are presented given the staffing rescue team trained technical equipment. As the readiness measures there was assumed probability of building and maintaining the specified states.

Key words: Rescue System, mobilization readiness, rescue team, technical equipment, operational module.