

Н. В. КАМЕНЕЦКАЯ, канд. техн. наук, профессор кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: natkam53@mail.ru)

О. М. МЕДВЕДЕВА, канд. техн. наук, доцент кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: mom65@mail.ru)

С. Б. ХИТОВ, Западный военный округ Министерства обороны Российской Федерации (Россия, 191055, г. Санкт-Петербург, Дворцовая пл., 10; e-mail: khitoff_s@mail.ru)

М. Д. МАСЛАКОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: kafedra_pbtp@mail.ru)

УДК 614.849

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА ОТКАЗА В РАБОТЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ХОДЕ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Рассмотрена возможность исследования опасностей, связанных с отказами в работе специальной техники в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций. Предложена методика оценки рисков с применением теории очередей и систем массового обслуживания. Выработаны практические рекомендации для повышения надежности работы специальной техники. Приведены расчеты, которые позволяют на практике предварительно учитывать риски, связанные с временно не работающей и восстанавливаемой специальной техникой, и, следовательно, управлять этими рисками для поддержания постоянной высокой готовности сил и средств пожарно-спасательных подразделений Федеральной противопожарной службы МЧС России, повышения их надежности в ходе ликвидации ЧС и проведения аварийно-спасательных работ. Обоснован вывод формул, на которых базируется методика; приведены примеры ее практической реализации. Сформулирован круг задач оперативной деятельности МЧС России, решить которые можно с применением представленной методики.

Ключевые слова: оценка риска; теория очередей; надежность; системы массового обслуживания; пожарно-спасательные подразделения.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.5-13

Введение

Обеспечение постоянной готовности личного состава и технических средств управления силами и средствами к сложной обстановке в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) является важнейшим условием своевременного развертывания системы управления, эффективного и качественного ее функционирования в ходе выполнения аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС России.

Для решения этой задачи разрабатывается и осуществляется комплекс действий организационного, технического и методологического характера.

Важнейшим организационным мероприятием, проводимым в целях обеспечения высокой постоянной готовности личного состава и специальной техники (далее — СТ) к работе, является определение необходимого состава сил и средств и анализ их

надежности в ходе ликвидации ЧС и выполнения аварийно-спасательных работ.

Применение значительного количества СТ ведет к неизбежным отказам, причем как технических средств, так и личного состава. Поэтому важным условием успешного решения задачи является обеспечение своевременного и безотказного функционирования специальной техники.

Выход из строя СТ, а также всех видов обслуживающих средств происходит по ряду причин, наиболее значимыми из которых являются неисправности, возникающие в процессе применения СТ по назначению, повреждения при транспортировке, воздействие неблагоприятных условий (метеоусловия, условия местности и т. п.).

Значительная доля отказов в работе СТ является результатом недостаточной подготовки личного со-

става (особенно в период освоения новых образцов), применения некачественно разработанной технической документации, а также сложности технических средств.

Специфику совместного влияния многих факторов на возможность своевременного, безотказного и безошибочного применения СТ обычно оценивают по количественным характеристикам, относящимся к показателям надежности [1–6], в виде комбинации нескольких частных показателей.

Цели и задачи исследования

Определение необходимого состава сил и средств для развертывания системы управления в ходе ликвидации ЧС должно базироваться на особенностях реальной обстановки. В связи с этим актуальной является задача предварительной оценки, учета и предупреждения рисков, связанных с применением “ненадежной”, т. е. временно находящейся в нерабочем состоянии или в состоянии ремонта, специальной техники в пожарно-спасательных подразделениях.

Современные методы математического моделирования являются весьма эффективным инструментарием в сфере управления рисками, что подтверждается отечественным и зарубежным опытом исследований [7–18].

Решение задачи оценки риска отказа в работе специальной техники в ходе ликвидации ЧС можно осуществить с использованием математического аппарата теории очередей, а именно систем массового обслуживания (СМО) [7, 8, 16, 19–21].

Действительно, эксплуатация пожарно-спасательными подразделениями МЧС России вооружения и специальной техники предполагает всестороннюю подготовку к применению разнообразных технических средств, которые в определенных условиях и различных сочетаниях могут рассматриваться как система массового обслуживания с отказами.

Определение показателей надежности СМО с отказами с учетом частных характеристик различных образцов специальной техники является достаточно трудоемким процессом, поэтому для оценки надежности функционирования системы можно воспользоваться косвенными способами.

Рассмотрим СМО с отказами, в которой допускается применение “ненадежных” условных средств обслуживания. В такой системе каждый вновь поступивший объект может получить отказ не только в случае занятости всех средств обслуживания, но и тогда, когда часть средств занята обслуживанием других объектов, а оставшаяся часть находится в нерабочем состоянии. При этом предполагается, что выход из строя средства одинаково возможен как на этапе применения, так и в период подготовки его к использованию.

При анализе СМО в большинстве случаев можно получить вполне удовлетворительные результаты, заменяя входящий поток любой структуры простейшим потоком объектов с той же плотностью. Важным свойством простейшего потока является то, что при суммировании большого числа ординарных стационарных потоков практически с любым последствием получается поток объектов, сколь угодно близкий к простейшему [20].

Перед проведением некоторых расчетов целесообразно убедиться в том, что входящий поток объектов в исследуемой СМО в первом приближении является простейшим [22].

Предположим, что СМО имеет n средств обслуживания одного и того же вида. Средства обслуживания являются изделиями многократного использования, следовательно, в процессе их эксплуатации появляются неисправности (отказы).

Таким образом, со стороны средств обслуживания будет наблюдаться поток отказов. Представим этот поток как простейший с параметром r , а время, затрачиваемое на восстановление работоспособности средства, как подчиняющееся показательному закону распределения с параметром γ .

В СМО поступает поток заявок (объектов) с параметром λ . Время обслуживания объектов также представляет собой случайную величину с показательным законом распределения. Параметр производительности средств обслуживания обозначим μ .

В случае попадания объекта в систему в момент времени, когда все средства заняты обслуживанием или ремонтируются, он получает отказ. Если средство обслуживания вышло из строя во время работы с объектом, он может быть снова возвращен в СМО.

В указанных условиях необходимо определить основные характеристики системы с учетом работы “ненадежных” средств и принять меры для улучшения этих характеристик и повышения эффективности и надежности работы системы в целом, т. е. устранить или скорректировать риски, связанные с возможными отказами СТ.

Методы исследования

Для решения поставленной задачи воспользуемся рядом известных формул [19].

Вычислим вероятность π_k нахождения k средств обслуживания в нерабочем состоянии в момент времени t :

$$\pi_k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \left(\frac{r}{\gamma}\right)^k \pi_0 \quad \text{при } 1 \leq k \leq n, \quad (1)$$

где n — число средств обслуживания;

π_0 — вероятность того, что в момент времени t в системе не будет ни одного средства в нерабочем состоянии;

m — число специалистов, привлекаемых для восстановления вышедших из строя средств обслуживания.

Вероятность π_0 определяется из нормирующего условия:

$$\sum_{k=0}^n \pi_k = 1;$$

$$\pi_k = \frac{n!}{m! m^{k-m} (n-k)!} \left(\frac{r}{\gamma}\right)^k \pi_0 \quad \text{при } m < k \leq n. \quad (2)$$

Вероятность $P_{\text{отк1}}$ того, что объект не будет обслужен системой, так как все средства заняты или находятся в нерабочем состоянии, рассчитывается как:

$$P_{\text{отк1}} = \sum_{s=0}^n P_s \cdot \pi_{n-s}, \quad (3)$$

где s — текущий параметр;

P_s — вероятность того, что в момент времени t обслуживанием объектов заняты s средств;

π_{n-s} — вероятность того, что в момент времени t $n-s$ средств обслуживания находятся в нерабочем состоянии.

Вероятность $P_{\text{отк2}}$ того, что объект покинет систему необслуженным, так как средство обслуживания вышло из строя в процессе функционирования системы, вычислим как

$$P_{\text{отк2}} = \frac{r \sum_{k=1}^n P_k \cdot k}{\lambda}, \quad (4)$$

где P_k — вероятность того, что в момент времени t обслуживанием объектов заняты k средств.

Суммарная вероятность отказа в обслуживании объектов “ненадежной” системой может быть вычислена по формуле

$$P_{\text{отк}} = P_{\text{отк1}} + P_{\text{отк2}} = \sum_{s=0}^n P_s \cdot \pi_{n-s} + \frac{r \sum_{k=1}^n P_k \cdot k}{\lambda}. \quad (5)$$

Суммарная вероятность отказа (5) является риском, который будет влиять на эффективность работы системы в целом как совокупности единиц обслуживающей спецтехники, применяемой в ходе ликвидации ЧС пожарно-спасательными подразделениями. Эту вероятность, т. е. риск, необходимо уменьшать, желательно до нормативного значения, которое составляет $P_n = 0,001$ [1, 2].

Вероятность обслуживания в СМО вновь поступившего объекта $P_{\text{обсл}}$ найдем из соотношения

$$P_{\text{обсл}} = 1 - P_{\text{отк}}. \quad (6)$$

Определим математические ожидания:

а) числа занятых средств обслуживания M_3 :

$$M_3 = \sum_{k=1}^n P_k \cdot k; \quad (7)$$

б) числа средств, находящихся в нерабочем состоянии, M_n :

$$M_n = \sum_{s=1}^n s \cdot \pi_s; \quad (8)$$

в) числа исправных средств, не занятых обслуживанием, M_0 :

$$M_0 = n - M_3 - M_n. \quad (9)$$

Коэффициенты простоя K_n и занятости K_3 средств обслуживания вычислим как:

$$K_n = M_0/n; \quad (10)$$

$$K_3 = M_3/n. \quad (11)$$

Коэффициент надежности системы K_n , определяющий среднюю долю неисправных средств по отношению к общему числу средств, задействованных для обслуживания, найдем из выражения

$$K_n = M_n/n. \quad (12)$$

Для СМО с отказами при $n = 1$ и $m = 1$ основными формулами для выполнения расчетов будут [19]:

$$\pi_0 = \gamma/(r + \gamma); \quad (13)$$

$$\pi_1 = r/(r + \gamma), \quad (14)$$

где π_1 — вероятность того, что в нерабочем состоянии находится только одно средство.

Тогда можно рассчитать:

- вероятность того, что все средства обслуживания свободны:

$$P_0 = \frac{r + \mu}{r + \mu + \lambda\gamma/(r + \gamma)}; \quad (15)$$

- вероятность того, что обслуживанием объектов занято только одно средство:

$$P_1 = \frac{\lambda\gamma}{(r + \gamma)(r + \mu) + \lambda\gamma}. \quad (16)$$

Суммарная вероятность отказа объекту в обслуживании будет определяться выражением

$$P_{\text{отк1}} = \pi_1 + P_1 = \frac{r}{r + \gamma} + \frac{\lambda\gamma}{(r + \gamma)(r + \mu) + \lambda\gamma}. \quad (17)$$

Пример оценки надежности станции специальной обработки

Пусть к обслуживающему прибору ($n = 1$), расположенному на станции специальной обработки, поступают объекты (специальная техника) с плотностью $\lambda = 4$ объекта в час. Среднее время обработки (обслуживания) объекта $t_{\text{обсл}} = 0,25$ ч. Прибор может периодически выходить из строя.

Допустим, что среднее время между выходами прибора из строя (отказами) $t_{\text{отк}} = 10$ ч. Время, затрачиваемое на восстановление неисправности $t_{\text{восст}}$, случайное и в среднем равно 0,2 ч. Если объект поступит в тот момент, когда прибор проводит обслужива-

Таблица 1. Значения показателей эффективности многоканальной СМО, $\lambda = 1, \bar{t}_{\text{обсл}} = 10$ мин

Table 1. Values of multichannel SMO performance indicators, $\lambda = 1, \bar{t}_{\text{serv}} = 10$ min

Число каналов обслуживания n Number of service channels n	Среднее время обслуживания заявки $\bar{t}_{\text{обсл}}$, мин Average service time of the application \bar{t}_{serv} , min	Вероятность того, что все каналы свободны P_0 The probability that all channels are free P_0	Вероятность отказа в обслуживании $P_{\text{отк}}$ The probability of denial of service P_{fail}	Число занятых каналов N_3 Number of busy channels N_{busy}	Число свободных каналов N_0 Number of free channels N_0	Коэффициент занятости средств обслуживания K_3 Coefficient of employment of facilities K_{busy}	Коэффициент простоя средств обслуживания $K_{\text{п}}$ Coefficient of downtime of facilities K_{d}
6	10,000	0,0003	0,4845	5,1549	0,8451	0,8591	0,1409
14	10,000	0,0000	0,0568	9,4318	4,5682	0,6737	0,3263
15	10,000	0,0000	0,0365	9,6350	5,3650	0,6423	0,3577
36	10,000	0,0000	0,0000	10,000	26,000	0,2778	0,7222
39	10,000	0,0000	0,0000	10,000	29,000	0,2564	0,7436
42	10,000	0,0000	0,0000	10,000	32,000	0,2381	0,7619
45	10,000	0,0000	0,0000	10,000	35,000	0,2222	0,7778
48	10,000	0,0000	0,0000	10,000	38,000	0,2083	0,7917
51	10,000	0,0000	0,0000	10,000	41,000	0,1961	0,8039
54	10,000	0,0000	0,0000	10,000	44,000	0,1852	0,8148
57	10,000	0,0000	0,0000	10,000	47,000	0,1754	0,8246
60	10,000	0,0000	0,0000	10,000	50,000	0,1667	0,8333

живание ранее поступившего объекта либо находится в нерабочем состоянии, то объект направляется для обработки на другой прибор, если он есть. Если станция одноканальная, то объект получает отказ в обслуживании.

Положим также, что возникшую неисправность устраняет один квалифицированный оператор ($m = 1$). Требуется определить основные характеристики системы массового обслуживания с учетом ненадежности одного прибора обслуживания.

Для решения данной задачи определим параметры r , μ и γ :

$$r = 1/\bar{t}_{\text{отк}} = 1/10 = 0,1;$$

$$\mu = 1/\bar{t}_{\text{обсл}} = 1/0,25 = 4;$$

$$\gamma = 1/\bar{t}_{\text{восст}} = 1/0,2 = 5.$$

По формуле (17) находим вероятность того, что объект не будет обработан, так как прибор либо неисправен, либо занят обслуживанием:

$$P_{\text{отк}1} = \frac{0,1}{5,1} + \frac{4 \cdot 5}{(0,1 + 5)(0,1 + 4) + 4 \cdot 5} = 0,0196 + 0,4889 = 0,5085. \quad (18)$$

Так как прибор может выходить из строя и во время работы с объектом, обслуживание некоторой части объектов (спецтехники) будет прервано до полного восстановления работы прибора.

Определим процент необработанных объектов из-за выхода прибора из строя во время обслуживания по формуле (4):

$$P_{\text{отк}2} = \frac{rP_1}{\lambda} = \frac{0,1 \cdot 0,4889}{4} = 0,0122.$$

На основании результатов, полученных при расчетах, можно сделать вывод о том, что с вероятностью 0,5085 обработка поступающего объекта (спецтехники) не состоится, так как обслуживающий прибор либо неисправен, либо занят обслуживанием другого объекта. При этом вероятность того, что прибор неисправен, равна первому слагаемому суммы (18), т. е. 0,0196. Вероятность того, что прибор занят обработкой одного из предшествующих объектов, равна второму слагаемому суммы (18), т. е. 0,4889.

Практические рекомендации

Результаты выполненных расчетов показывают, что обслуживающий прибор, который проводит обработку специальной техники, перегружен, так как суммарная вероятность отказа объектам в обслуживании оказалась равной 0,5085, что значительно превышает нормативное значение. В рамках приведенного примера это означает, что 51 % поступающей спецтехники не будет обслужен, что крайне неэффективно. Кроме того, в 1,2 % случаев часть объектов останется без обработки по причине выхода из строя прибора во время их обслуживания.

В связи с этим для повышения пропускной способности станции специальной обработки (при вышеприведенных исходных данных) необходимо увеличить число обслуживающих приборов n и число квалифицированных специалистов m , используя модель многоканальной СМО.

Для проведения тактических расчетов работы СМО (с учетом отказов технических средств, ошибок, допускаемых личным составом при использо-

вании этих средств, и биологических отказов) можно воспользоваться более общей методикой.

Надежность функционирования системы можно определить методом сопоставления сравниваемых величин $P_{отк}$ при заданных значениях исходных данных. При этом будем предполагать, что

$$P_{отк i} - P_{отк j} = P_{отк i-j},$$

где $P_{отк i}$ — вероятность отказа объектам в обслуживании при условии, что все n средств работоспособны;

$P_{отк j}$ — вероятность отказа объектам в обслуживании при условии, что часть средств неисправна;

$P_{отк i-j}$ — характеристика изменения степени надежности функционирования системы.

Рассмотрим пример оценки надежности функционирования системы массового обслуживания методом сопоставления сравниваемых величин $P_{отк}$ при заданных значениях исходных данных.

Пример оценки надежности системы, обеспечивающей переправу через реку в зону ЧС

При выполнении аварийно-спасательных работ, например при ликвидации последствий крупномасштабных ЧС (землетрясений, наводнений и т. п.), связанных с разрушениями объектов дорожной инфраструктуры, возникает задача своевременной доставки личного состава пожарно-спасательных подразделений и единиц специальной техники в зону ЧС.

В частности, рассмотрим задачу оценки надежности системы, обеспечивающей переправу через реку в зону ЧС в районе, отрезанном от кратчайшей

магистральной, по которой из мест постоянной дислокации прибывают пожарно-спасательные подразделения.

Предположим, что на участке форсирования реки развернуто 15 однотипных переправочных средств ($n = 15$). Поток поступления техники на переправу в среднем составляет 1 объект в минуту (интенсивность потока заявок $\lambda = 1$). Среднее время переправы одного объекта (время обслуживания) $\bar{t}_{обсл} = 10$ мин (в среднее время включено и время возвращения переправочного средства назад).

Определим основные характеристики системы и оценим надежность ее функционирования с учетом того, что из строя может выйти одно переправочное средство.

По табл. 1 [21] можно найти значения показателей эффективности многоканальной СМО для различных исходных данных при $n = 15$ и $n = 14$.

Определим, насколько изменится вероятность отказа (т. е. увеличится риск), если окажется неисправным одно переправочное средство:

$$P_{отк14} - P_{отк15} = 0,0568 - 0,0365 = 0,0203. \quad (19)$$

Практические рекомендации

В соответствии с равенством (19) при выходе из строя одного переправочного средства риск, т. е. вероятность отказа в обслуживании, возрастет с 0,0365 до 0,0568, а надежность работы всей системы уменьшится на 2 %. После восстановления переправочного средства надежность переправы снова возрастет на ту же величину.

Таблица 2. Значения показателей эффективности многоканальной СМО, $\lambda = 1, \bar{t}_{обсл} = 15$ мин

Table 2. Values of multichannel SMO performance indicators, $\lambda = 1, \bar{t}_{serv} = 15$ min

Число каналов обслуживания n Number of service channels n	Среднее время обслуживания заявки $\bar{t}_{обсл}$, мин Average service time of the application \bar{t}_{serv} , min	Вероятность того, что все каналы свободны P_0 The probability that all channels are free P_0	Вероятность отказа в обслуживании $P_{отк}$ The probability of denial of service P_{fail}	Число занятых каналов N_3 Number of busy channels N_{busy}	Число свободных каналов N_0 Number of free channels N_0	Коэффициент занятости средств обслуживания K_3 Coefficient of employment of facilities K_{busy}	Коэффициент простоя средств обслуживания K_{II} Coefficient of downtime of facilities K_d
6	15,000	0,0000	0,6341	5,4883	0,5117	0,9147	0,0853
14	15,000	0,0000	0,2200	11,7003	2,2997	0,8357	0,1643
15	15,000	0,0000	0,1803	12,2953	2,7047	0,8197	0,1803
36	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	21,000	0,4167	0,5833
39	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	24,000	0,3846	0,6154
42	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	27,000	0,3571	0,6429
45	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	30,000	0,3333	0,6667
48	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	33,000	0,3125	0,6875
51	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	36,000	0,2941	0,7059
54	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	39,000	0,2778	0,7222
57	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	42,000	0,2632	0,7368
60	15,000	0,0000	0,0000	0,1500	45,000	0,2500	0,7500

Необходимо отметить, что значения показателей эффективности для многоканальной СМО с отказами при различных исходных данных можно найти в специальной литературе в виде таблиц [21]. Это значительно упрощает решение задачи по оценке рисков и надежности системы.

Пусть в условиях примера, кроме уменьшения на единицу количества переправочных средств — с 15 до 14, изменится и среднее время переправы одного объекта (время обслуживания) до $t_{\text{обсл}} = 15$ мин. По табл. 2 находим вероятности отказа для нового времени обслуживания.

Тогда вероятность отказа изменится на величину

$$P_{\text{отк14}} - P_{\text{отк15}} = 0,2200 - 0,1803 = 0,0397.$$

Расчеты показали, что незначительное изменение в исходных данных увеличило риск в 2 раза и уменьшило надежность системы на 4 %.

Таблицы значений показателей эффективности СМО, подобные табл. 1 и 2, могут быть использованы в системах управления базами данных, создаваемых в целях оптимизации процесса управления рисками [21].

Выводы

Актуальная проблема предварительной оценки рисков, связанных с применением “ненадежных” средств вооружения и специальной техники пожарно-спасательных подразделений, решена в настоящей статье с применением математического аппарата теории очередей и систем массового обслуживания с отказами.

Сформулируем ряд задач оперативной деятельности МЧС России, решение которых можно осуществить с применением представленной методики: обоснование структуры и организации функционирования мобильного госпиталя МЧС России [7], оценка эффективности функционирования поста радиационного, химического и биологического наблюдения в зоне ЧС [8], расчет показателей эффективности функционирования производственно-технического центра МЧС России, моделирование мероприятий технической эксплуатации средств электронно-вычислительной и оргтехники в системе МЧС России [16], моделирование процесса распределения финансовых средств в интересах эффективной организации радиосвязи в МЧС России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кривошинок В. В., Малыгин И. Г., Сай В. В.* Система обеспечения безопасности от рисков при производстве пожарной техники // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2008. — № 4(8). — С. 61–68.
2. Методические рекомендации по действиям подразделений Федеральной противопожарной службы при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ : утв. указанием МЧС России от 26.05.2010 № 43-2007-18. URL: <http://lawru.info/dok/2010/05/26/n220225.htm> (дата обращения: 10.01.2018).
3. *Нефедьев С. А.* Современные инструменты управления риском чрезвычайных ситуаций на транспорте // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 9. — С. 60–69. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.60-69.
4. *Черных А. К., Вилков В. Б.* Управление безопасностью транспортных перевозок при организации материального обеспечения сил и средств МЧС России в условиях чрезвычайной ситуации // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 9. — С. 52–59. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.52-59.
5. Guidelines for chemical transportation safety, security, and risk management. — New York – New Jersey : Center for Chemical Process Safety, John Wiley & Sons, Inc., 2008. 202 p. DOI: 10.1002/9780470924860.
6. Terrorism and international transport: towards risk-based security policy. — Paris : OECD Publishing, 2009. — 150 p. DOI: 10.1787/9789282102329-en.
7. *Каменеукая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б.* Математическое моделирование при решении задач обоснования структуры и организации функционирования мобильного госпиталя МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2016. — № 1. — С. 62–67.
8. *Каменеукая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б.* Применение методов математического моделирования при решении задачи выявления и оценки радиационной, химической и биологической обстановки в зоне чрезвычайной ситуации // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2016. — № 2(38). — С. 64–69.
9. *Akbar N. S., Beg O. A. (eds.)*. Modeling and simulation in engineering sciences. — New York : iTexLi, 2016. — 289 p. DOI: 10.5772/62109.
10. *Fitzgibbon W., Kuznetsov Yu. A., Neittaanmäki P., Pironneau O. (eds.)*. Modeling, simulation and optimization for science and technology. — Amsterdam : Springer, 2014. — 248 p. DOI: 10.1007/978-94-017-9054-3.

11. *Siddiqi A. H., Manchanda P., Bhardwaj R.* Mathematical models, methods and applications. — New York : Springer, 2015. — 309 p. DOI: 10.1007/978-981-287-973-8.
12. *Giordano F. R., Fox W. P., Horton S. B.* A first course in mathematical modeling. — 5th ed. — Boston : Cengage Learning, 2013. — 704 p.
13. *Habib M.* (ed.). Empirical modeling and its applications. — New York : ExLi4EvA, 2016. — 146 p. DOI: 10.5772/61406.
14. *Meerschaert M. M.* Mathematical modeling. — 4th ed. — New York : Academic Press, 2013. — 368 p.
15. *Yang Xin-She* (ed.). Mathematical modeling with multidisciplinary applications. — New York : John Wiley & Sons, 2013. — 592 p. DOI: 10.1002/9781118462706.
16. *Каменецакая Н. В., Корольков А. П., Хитов С. Б.* Математическое моделирование мероприятий технической эксплуатации средств электронно-вычислительной и оргтехники в системе МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2017. — № 4(44). — С. 89–94.
17. *Каменецакая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б., Бардулин Е. Н.* Обоснование выбора эффективных тактических приемов по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ методом последовательного анализа // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 5. — С. 5–12. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.5-12.
18. *Каменецакая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б., Громов В. Н.* Математическое моделирование сравнительного анализа двух тактических приемов по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ подразделениями МЧС России // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 10. — С. 20–26. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.20-26.
19. *Новиков О. А., Петухов С. И.* Прикладные вопросы теории массового обслуживания. — М. : Советское радио, 1969. — 400 с.
20. *Вагнер Г.* Основы исследования операций / Пер. с англ. — М. : Мир, 1973. — Т. 3. — 504 с.
21. *Лукин А. И.* Системы массового обслуживания: анализ систем массового обслуживания с отказами в военной практике. — М. : Воениздат, 1980. — 189 с.
22. *Каменецакая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б.* Анализ входящего потока объектов при математическом моделировании систем массового обслуживания // Приоритетные научные направления: от теории к практике : матер. XXXVIII Международной научно-практической конференции. — Новосибирск : Центр развития научного сотрудничества, 2017. — С. 156–162.

Материал поступил в редакцию 6 февраля 2018 г.

Для цитирования: *Каменецакая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б., Маслаков М. Д.* Методика оценки риска отказа в работе специальной техники в ходе ликвидации чрезвычайной ситуации // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2–3. — С. 5–13. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.5-13.

English

METHODOLOGY OF ESTIMATION OF THE FAILURES'S RISKS IN THE WORK OF SPECIAL TECHNICAL MEANS IN EMERGENCY SITUATIONS

KAMENETSKAYA N. V., Candidate of Technical Sciences, Professor of Higher Math and System Modeling of Complex Processes Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: natkam53@mail.ru)

MEDVEDEVA O. M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Higher Math and System Modeling of Complex Processes Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: mom65@mail.ru)

KHITOV S. B., Western Military District of the Ministry of Defense of the Russian Federation (Dvortsovaya Square, 10, Saint Petersburg, 191055, Russian Federation; e-mail: khitoff_s@mail.ru)

MASLAKOV M. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Fire Safety of Technological Processes and Production, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: kafedra_pbtp@mail.ru)

ABSTRACT

The most important condition for the timely deployment of the management system, its efficient and high-quality operation in the course of emergency rescue operations by the units of Emercom of Russia is to ensure the constant readiness of personnel and technical means of managing forces and assets in a complex fire situation.

For this purpose, it is required to determine in advance the necessary composition of forces and assets and to analyze their reliability in work during the liquidation of emergencies. Activities of technical operation should ensure the timely and trouble-free operation of special technical means (STM).

The use of a significant number of STM leads to inevitable failures, both of technical means and personnel. The failure of the STM, as well as of all types of servicing facilities, occurs for a number of reasons, the main of which are: malfunctions arising in the course of application as intended; damage during transportation; exposure to adverse conditions. The specificity of the joint influence of many factors on the possibility of timely, trouble-free and error-free application of STM is usually assessed by quantitative characteristics relating to indicators of reliability and risk.

Therefore, the task of preliminary assessment of risks, their accounting and further elimination, connected with the use of “unreliable”, that is temporarily in a non-working condition or in the state of repair, special equipment of fire-rescue units, is urgent.

The purpose of this study is to demonstrate the possibility of assessing the risks caused by failures in the work of special technical means during the liquidation of emergencies.

The article proposes a methodology for risk assessment using queuing theory and queuing systems with failures. Practical recommendations have been developed to increase the reliability of the STM operation. There are calculations that allow in practice to take into account the risks associated with a temporarily idle and recoverable STM, and therefore, manage risks to maintain a constant high readiness of the forces and means of fire and rescue units of the Federal Fire Fighting Service of Emercom of Russia, increase their reliability in the process of liquidation of emergencies and carrying out rescue operations. The conclusion of formulas on which the method is based is proved; examples of its practical implementation are given.

Keywords: risk assessment; queuing theory; reliability; queuing systems; fire-rescue units.

REFERENCES

1. Krivoshonok V. V., Malygin I. G., Say V. V. Safety system in fire equipment manufacturing. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2008, no. 4(8), pp. 61–68 (in Russian).
2. *Methodical recommendations on the actions of units of the Federal firefighting service for extinguishing fires and conducting emergency rescue operations*. Approved by the order of Emercom of Russia on 26.05.2010 No. 43-2007-18 (in Russian). Available at: <http://lawru.info/dok/2010/05/26/n220225.htm> (Accessed 10 January 2018).
3. Nefedev S. A. Modern tools of risk management of emergency situations on transport. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 9, pp. 60–69 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.60-69.
4. Chernykh A. K., Vilkov V. B. Management of transportation safety at the organization of material maintenance of forces and means Emercom of Russia in emergencies. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 9, pp. 52–59 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.09.52-59.
5. *Guidelines for chemical transportation safety, security, and risk management*. New York, Center for Chemical Process Safety; New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2008. 202 p. DOI: 10.1002/9780470924860.
6. *Terrorism and International transport: towards risk-based security policy*. Paris, OECD Publishing, 2009. 150 p. DOI: 10.1787/9789282102329-en.
7. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B. Mathematical modeling in problem of solving situation of explanation of the structure and functioning of the field hospital of Emercom of Russia. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. Nauchno-analiticheskiy zhurnal / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia. Scientific and Analytical Magazine*, 2016, no. 1, pp. 62–67 (in Russian).

8. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B. Application of methods of mathematical modelling at the solution of the problem of identification and the assessment of radiation, chemical and biological situation in zone of emergency. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2016, no. 2(38), pp. 64–69 (in Russian).
9. Akbar N. S., Beg O. A. (eds.). *Modeling and simulation in engineering sciences*. New York, iTexLi, 2016. 289 p. DOI: 10.5772/62109.
10. Fitzgibbon W., Kuznetsov Yu. A., Neittaanmäki P., Pironneau O. (eds.). *Modeling, simulation and optimization for science and technology*. Amsterdam, Springer, 2014. 248 p. DOI: 10.1007/978-94-017-9054-3.
11. Siddiqi A. H., Manchanda P., Bhardwaj R. *Mathematical models, methods and applications*. New York, Springer, 2015. 309 p. DOI: 10.1007/978-981-287-973-8.
12. Giordano F. R., Fox W. P., Horton S. B. *A first course in mathematical modeling*. 5th ed. Boston, Cengage Learning, 2013. 704 p.
13. Habib M. (ed.). *Empirical modeling and its applications*. New York, ExLi4EvA, 2016. 146 p. DOI: 10.5772/61406.
14. Meerschaert M. M. *Mathematical modeling*. 4th ed. New York, Academic Press, 2013. 368 p.
15. Yang Xin-She (ed.). *Mathematical modeling with multidisciplinary applications*. New York, John Wiley & Sons, 2013. 592 p. DOI: 10.1002/9781118462706.
16. Kamenetskaya N. V., Korolkov A. P., Khitov S. B. Mathematical modeling of technical exploitation's activities of electronic computers and office equipment in the system of Emercom of Russia. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2017, no. 4(44), pp. 89–94 (in Russian).
17. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B., Bardulin E. N. Justification of effective tactical procedure choice fire-fighting wrecking by means of sequential analysis method. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 5, pp. 5–12 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.5-12.
18. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B., Gromov V. N. Comparative analysis of two tactical procedures of fire exercise and carrying out emergency rescue operations by the fire divisions of the MES of Russia. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 10, pp. 20–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.20-26.
19. Novikov O. A., Petukhov S. I. *Prikladnyye voprosy teorii massovogo obsluzhivaniya* [Applied questions of queuing theory]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1969. 400 p. (in Russian).
20. Wagner H. M. *Principles of operations research*. New Jersey, Prentice-Hall, 1969 (Russ. ed.: Wagner H. M. *Osnovy issledovaniya operatsiy*. Moscow, Mir Publ., 1972, vol. 3, 504 p.).
21. Lukin A. I. *Sistemy massovogo obsluzhivaniya: analiz sistem massovogo obsluzhivaniya s otkazami v voyennoy praktike* [Queuing systems: Analysis of queuing systems with rejections in military practice]. Moscow, Voenizdat Publ., 1980. 189 p. (in Russian).
22. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B. The objects incoming flow analysis in the queuing systems mathematical modeling. In: *Prioritetnyye nauchnyye napravleniya: ot teorii k praktike* [Priority scientific areas: from theory to practice]. Proceeding of XXXVIII International Scientific-Practical Conference. Novosibirsk, Center for the Development of Scientific Cooperation Publ., 2017, pp. 156–162 (in Russian).

For citation: Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B., Maslakov M. D. Methodology of estimation of the failures's risks in the work of special technical means in emergency situations. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2–3, pp. 5–13 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.5-13.