

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, преподаватель кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: khitoff_s@mail.ru)

В. Н. ГРОМОВ, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29)

УДК 614.849

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ДВУХ ТАКТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРОВ И ПРОВЕДЕНИЮ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ МЧС РОССИИ

Рассмотрена возможность математического моделирования процесса выработки решения о принятии на вооружение одного из двух новых тактических приемов по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ пожарно-спасательными подразделениями Федеральной противопожарной службы МЧС России в ходе сравнительной оценки их эффективности. Представлен метод формирования рекомендаций по результатам последовательного анализа двух исследуемых тактических приемов, эффективность каждого из которых определяется вероятностью выполнения поставленной задачи за установленное время, а вероятности эти неизвестны. Обоснован вывод формул, на которых базируется метод; приведен пример его практической реализации в двух формах — графической и табличной. Сформулирован круг задач оперативной деятельности МЧС России, решение которых можно осуществить с применением представленного метода.

Ключевые слова: математическое моделирование; последовательный анализ; проверка статистических гипотез, оценка качества тактических приемов действий сил; пожарно-спасательные подразделения.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.20-26

Введение

Современное состояние природно-техногенной сферы России характеризуется ростом частоты и тяжести промышленных аварий, стихийных бедствий и катастроф, актов терроризма. Масштабы этих явлений становятся все более грозными для населения, природной среды и экономики страны. В этих условиях проблема совершенствования управления безопасностью обретает особое значение. Одной из наиболее важных задач, стоящих перед Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), является изыскание новых нестандартных решений в деле повышения эффективности мероприятий как

по предотвращению чрезвычайных ситуаций (ЧС), так и по ведению оперативных действий в зонах стихийных бедствий, промышленных катастроф и пожаров, по ликвидации их последствий.

Разработка новых тактических приемов (далее — ТП) действий сил пожарно-спасательных подразделений (ПСП) ведется в МЧС России по разным направлениям, с привлечением научно-технических кадров, с применением современных достижений науки и мировых технологий. Возникает проблема выбора наиболее эффективного из нескольких возможных вариантов решения оперативной задачи (тушения пожара, проведения аварийно-спасательных работ (АСР), ликвидации последствий ЧС).

Цели и задачи исследования

Аварийно-спасательные работы, проводимые на особо опасных, технически сложных и уникальных объектах [1], требуют существенных материальных и временных затрат, несут определенную опасность для личного состава ПСП. Многократное проведение учений в целях накопления статистического материала, необходимого для определения наиболее эффективных приемов и способов действий ПСП на таких объектах, вряд ли можно считать целесообразным.

Использование математического моделирования [2–7] позволяет сократить затраты и риски, а также количество самих экспериментов, что особенно актуально при выборе наиболее эффективного из нескольких ТП.

Задача выбора оптимального в плане соответствия предъявляемым требованиям ТП [8] при условии, что есть возможность апробации нескольких различных приемов, может быть успешно решена с помощью метода последовательного анализа (МПА), разработанного венгерским математиком А. Вальдом [9]. Цель нашего исследования — продемонстрировать относительную простоту и доступность применения указанного метода, обеспечивающего достаточно высокую точность и надежность выводов при сравнительно небольшом числе испытаний.

Материалы и методы исследования

Сущность МПА [9] состоит в том, что при проведении испытаний их число заранее не прогнозируется, а выполняется анализ результатов после каждого эксперимента, начиная с первого. После очередного i -го опыта либо принимается одно из возможных решений и дальнейшее исследование прекращается, поскольку цель достигнута, либо решение не принимается и проводится $(i+1)$ -й опыт, исход которого с учетом всех предыдущих результатов подвергается такому же анализу.

Характерная особенность применения МПА заключается в существовании возможности описания исследуемого процесса с помощью случайной величины, принимающей только два возможных значения — 0 и 1.

В оперативной деятельности подразделений МЧС России МПА может быть применен для моделирования процессов выработки научно обоснованных решений, например:

- о кондиционности партии пожарно-технического вооружения (ПТВ), хранящейся на складе, по результатам ее проверки в ходе ограниченного числа испытаний на соответствие предъявленным требованиям [10];
- о целесообразности принятия на вооружение нового образца ПТВ или пожарной техники, огне-

тушителя, средства индивидуальной защиты или нового тактического приема выполнения боевой задачи на основе проверки их соответствия предъявляемым требованиям по эффективности [11];

- о выборе одного из двух действий или процессов, эффективность каждого из которых определяется вероятностью некоторого события, а вероятности эти неизвестны.

Примером такого исследования может служить сравнительный анализ двух тактических приемов действий сил подразделений МЧС России. Решению этой задачи и посвящена настоящая статья.

Формирование решения о выборе наиболее эффективного из двух новых тактических приемов с помощью метода последовательного анализа

Рассмотрим возможность математического моделирования процесса выработки научно обоснованного решения о принятии на вооружение наиболее эффективного из двух новых тактических приемов тушения пожаров и проведения АСР пожарно-спасательными подразделениями МЧС России.

Исследование с применением МПА проводится по результатам неоднократной сравнительной оценки эффективности двух мероприятий (учений), осуществляемых одновременно. Учитываются лишь те учения, в ходе которых задача была выполнена только посредством реализации одного (первого или второго) ТП. Специфика метода заключается в том, что из анализа исключаются все случаи, когда результаты использования двух ТП одинаковы, т. е. оба приема оказались либо успешными, либо неудачными в плане достижения цели учения.

Постановка задачи

Для выполнения пожарно-спасательным подразделением максимального объема действий по тушению пожара и проведению АСР в условиях ограничения времени разработаны два новых ТП действий сил — ТП1 и ТП2. Планируется проведение практических учений для выявления наиболее эффективного ТП. Как известно [12], среди основных временных характеристик процесса пожаротушения выделяют время боевой работы (время с момента прибытия ПСП до отъезда с места пожара), а также время тушения (занятости ПСП). Единого мнения специалистов по оценке нормативной продолжительности тушения пожаров, как и единой концепции в обосновании расчетной продолжительности боевой работы, нет. Однако такая концепция может быть сформирована экспертами пожарной безопасности на вероятностно-статистической основе.

Эффективность каждого тактического приема будем понимать как вероятность выполнения с его

помощью оперативной задачи за время, не превышающее установленного предельного значения [11]:

$$P(t_{\text{ТП}i} \leq t_{\text{уст}}) = W_i, \quad (1)$$

где $t_{\text{ТП}i}$ — время выполнения задачи при использовании исследуемого ТП1 ($i = 1$) или ТП2 ($i = 2$);

$t_{\text{уст}}$ — предельное время выполнения задачи, установленное экспертами [8, 13];

W_i — критерий эффективности ТП1 ($i = 1; 2$).

В ходе каждого учения применяется только один из исследуемых приемов.

По результатам анализа формируется рекомендация выбрать:

- ТП1, если в ходе учений окажется, что ТП2 уступает ему по эффективности не менее чем в u_0 раз;
- ТП2, если он эффективнее первого не менее чем в u_1 раз.

Допускаются ошибки первого и второго рода [9–11], вероятности совершения которых равны соответственно α и β . Цель действий сил пожарного подразделения на учении — выявление наиболее эффективного ТП. Цель математического моделирования — обоснование рекомендаций при выборе лучшего из двух ТП в ходе учений.

Разработка математической модели

Рассмотрим две гипотезы: H_0 — ТП1 лучше ТП2; H_1 — ТП2 лучше ТП1.

При этом если $W_1/W_2 \geq u_0$, то верна гипотеза H_0 , если $W_2/W_1 \geq u_1$, то верна гипотеза H_1 .

Обозначим неизвестные вероятности выполнения поставленной перед подразделением МЧС задачи при использовании ТП1 или ТП2 соответственно P_1 и P_2 .

В процессе учений считается, что оба ТП одинаковы по эффективности и невозможно отдать предпочтение ни одному из них, если задача в обоих случаях выполнена или не выполнена, чему соответствуют вероятности $P_1 \cdot P_2$ или $(1 - P_1) \cdot (1 - P_2)$ [14, 15].

Будем рассматривать только те случаи, когда поставленная задача успешно выполнена при применении ТП1 или ТП2 с вероятностями $P_1(1 - P_2)$ или $P_2(1 - P_1)$ соответственно.

Относительное превосходство ТП2 над ТП1 можно найти из соотношения

$$u = P_2(1 - P_1) / [P_1(1 - P_2)], \quad (2)$$

где $P_2(1 - P_1)$, $P_1(1 - P_2)$ — функции правдоподобия гипотез H_1 и H_0 соответственно.

Выражение (2) является коэффициентом правдоподобия. При $u = 1$ тактические приемы равнозначны. При $u > 1$ доминирует ТП2, и наоборот, при $u < 1$ доминирует ТП1.

Так как значения вероятностей P_1 и P_2 неизвестны, то при $u \approx 1$ невозможно отдать предпочтение

ни одному из ТП. В этом случае, как и в других вариантах решения задач с применением МПА [9–11], вокруг значения $u = 1$ создается нечувствительная зона, границы которой — нижняя граница зоны неопределенности u_0 и верхняя граница зоны неопределенности u_1 — устанавливаются начальником пожарного подразделения [8, 13].

Вероятность отклонения ТП1 при $u \leq u_0$ не должна превышать величины α , а вероятность его принятия при $u \geq u_1$ — величины β , с учетом того что всегда $u_0 < u_1$.

Если оба ТП одинаковы по сложности их отработки и применения, то выбираются $u_0 < 1$ и $u_1 > 1$. Эти границы могут быть как симметричными, так и несимметричными относительно единицы. Если же применение ТП2 требует дополнительных затрат материальных ресурсов или времени, то выбирается $u_0 \geq 1$.

Отметим еще раз: при проведении пар испытаний учитываются только те случаи, когда поставленную задачу по тушению пожара и проведению АСР при условии (1) удалось выполнить в случае применения только одного из тактических приемов.

Условная вероятность p выполнения задачи при использовании ТП2 при условии, что эта задача выполнена в результате применения одного из двух приемов, определяется выражением [10, 11, 14]:

$$p = \frac{P_2(1 - P_1)}{P_1(1 - P_2) + P_2(1 - P_1)}. \quad (3)$$

Преобразуем (3) к виду

$$p = \frac{P_2(1 - P_1)}{P_1(1 - P_2)} \left[1 + \frac{P_2(1 - P_1)}{P_1(1 - P_2)} \right]^{-1}.$$

С учетом (2) получим:

$$p = u / (1 + u).$$

В соответствии с принятыми значениями u_0 и u_1 обозначим:

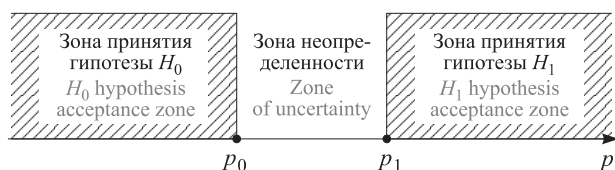
$$p_0 = u_0 / (1 + u_0); \quad p_1 = u_1 / (1 + u_1).$$

Таким образом, задача выбора одного из двух тактических приемов сводится к задаче о проверке на соответствие требованиям одного нового тактического приема [10, 11, 15]. Величина p_0 соответствует верхней границе зоны принятия гипотезы H_0 , p_1 — нижней границе зоны принятия гипотезы H_1 (рис. 1).

Итак, если верна гипотеза H_0 , предпочтение отдается первому тактическому приему, а если верна гипотеза H_1 — второму.

Границы критической области (области, в которой проверяемая гипотеза H_0 отвергается) рассчитываются в соответствии с неравенством [9–11]:

$$b + kn < m < a + kn, \quad (4)$$

Рис. 1. Зоны принятия гипотез H_0 и H_1 Fig. 1. H_0 , H_1 hypothesis acceptance zones

в котором

$$a = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{u_1}{u_0}}; \quad b = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{u_1}{u_0}}; \quad k = \frac{\ln \frac{1+u_1}{1+u_0}}{\ln \frac{u_1}{u_0}}. \quad (5)$$

Для последовательной проверки в качестве величины m принимается число учений, в которых использование ТП2 приводит к выполнению задачи в соответствии с заданным критерием эффективности (1), а использование ТП1 — к ее невыполнению.

Практическая реализация метода проверки

Проверка выполняется с помощью либо графика, либо таблицы [10, 11, 14, 15]. Для этого организуют и проводят учения с применением и первого, и второго ТП, фиксируя результаты парами. Например, пара (1; 1) означает, что задача выполнена в обоих случаях, а пара (0; 1) — при проведении ТП2.

Учения могут проводиться одновременно или в разное время. При этом принимается во внимание не общее число учений, а только те n из них, в которых задача выполнена с проведением или ТП1, или ТП2 (исключая учения, в которых задача выполнена или не выполнена с применением одновременно ТП1 и ТП2). Расчет коэффициентов a , b , k и построение прямых $m_0 = b + kn$ и $m_1 = a + kn$ (в случае использования *графической формы* МПА) производятся по тому же принципу, что и при последовательном анализе одного нового тактического приема [9–11]. Испытания продолжаются до тех пор, пока ломаная, соединяющая точки $(n; m)$ (где n — число учений с удачным применением только одного из ТП; m — число пар (0; 1) с успешным результатом при применении ТП2), не пересечет прямую m_0 или m_1 . При этом рекомендуется принять ТП1, если пересечена прямая m_0 , и ТП2 — если пересечена прямая m_1 .

Реализация МПА с помощью графика представлена на рис. 2.

В случае последовательной проверки двух тактических приемов с помощью таблицы для каждого числа n рассчитываются значения $m_0 = b + kn$ и $m_1 = a + kn$, которые заносятся в графы 3 и 5. По результатам испытаний заполняются графы 2 и 4. В графу 3 помещаются только неотрицательные числа, так как значения m , которые есть смысл сравнивать с m_0 , всегда положительны.

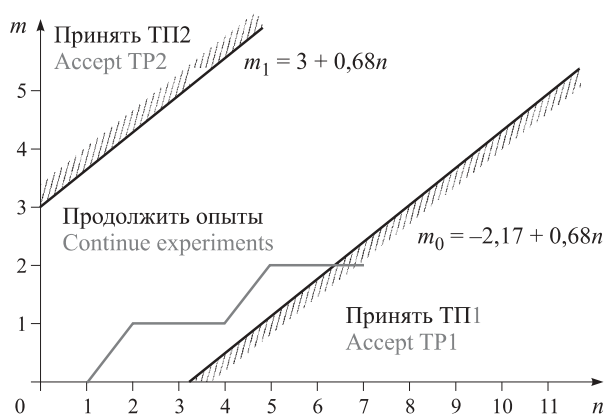


Рис. 2. График последовательного анализа для выбора одного из двух тактических приемов

Fig. 2. A sequential analysis chart for selecting one of two tactical procedures

Как и при использовании графического метода, проверка продолжается до тех пор, пока $m_0 < m < m_1$. При первом случае невыполнения указанного неравенства проверка прекращается и формируется решение:

- если $m \leq m_0$, то рекомендуется принять ТП1;
- если $m \geq m_1$, то рекомендуется принять ТП2.

В таблице приведены данные возможного варианта испытаний для примера, в котором $u_0 = 1,5$; $u_1 = 3,0$; $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,2$.

Поясним выбор значений u_0 , u_1 , α и β исходя из заданного критерия эффективности.

Величина $u_0 = 1,5$ означает, что для формирования рекомендации о целесообразности выбора ТП1 его эффективность должна быть не менее чем в 1,5 раза выше эффективности ТП2. Величина $u_1 = 3,0$ означает, что для выбора ТП2 его эффективность должна быть не менее чем в 3 раза превосходить эффективность ТП1. Вероятность отклонения ТП1 при $u \leq u_0$ не должна превышать $\alpha = 0,1$, а вероятность его принятия при $u \geq u_1$ — значения $\beta = 0,2$.

Данные, полученные при возможном варианте испытаний
Data of a possible test option

Число испытаний n Number of tests n	Пары результатов испытаний (0; 1) и (1; 0) Pairs of results tests (0; 1) and (1; 0)	Число m_0 Number m_0	Число m пар (0; 1) с успешным результатом ТП2 The number m pairs (0; 1) with a successful TP2 result	Число m_1 Number m_1
1	2	3	4	5
1	(1; 0)	—	0	3,68
2	(0; 1)	—	1	4,36
3	(1; 0)	—	1	5,03
4	(1; 0)	0,54	1	5,71
5	(0; 1)	1,22	2	6,39
6	(1; 0)	1,84	2	7,06
7	(1; 0)	2,58	2	7,74

Параметры a , b и k из неравенства (4), вычисляемые по (5), при выбранных значениях u_0 , u_1 , α и β составляют: $a = 3$; $b = -2,17$; $k = 0,68$.

В данном случае сравнительную оценку двух тактических приемов следует прекратить после седьмого учения и рекомендовать пожарно-спасательному подразделению взять на вооружение первый тактический прием как наиболее эффективный.

Выводы

Применение метода последовательного анализа для выбора наиболее эффективного из двух новых

тактических приемов имеет особое значение, так как использование классических методов математической статистики для решения указанной задачи с достаточно высокой точностью и надежностью потребовало бы, по крайней мере, двукратного увеличения количества учений по сравнению с испытанием одного тактического приема. Метод последовательного анализа позволяет найти решение, отвечающее требованиям эффективности при выполнении поставленной задачи по тушению пожаров разных уровней сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации (ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 10.08.2017).
2. Каменецкая 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.
3. Каменецкая 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.
4. Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Хитов С. Б. Математическое моделирование при планировании мероприятий на проведение взрывных работ на реках в паводковый период // Современные тенденции развития науки и технологий. — 2016. — № 6-1. — С. 22–27.
5. Akbar N. S., Beg O. A. (eds.) Modeling and simulation in engineering sciences. — New York : iTexLi, 2016. — 289 p. DOI: 10.5772/62109.
6. 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.
7. 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.
8. 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: 10.04.2017).
9. Вальд А. Последовательный анализ / Пер. с англ. — М. : Физматлит, 1960. — 328 с.
10. Каменецкая Н. В., Медведева О. М., Щетка В. Ф., Хитов С. Б. Применение метода последовательного анализа для моделирования процесса выработки решения в оперативной деятельности МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2016. — № 3(39). — С. 73–81.
11. Каменецкая 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.
12. Тербнев В. В., Тербнев А. В. Управление силами и средствами на пожаре : учебное пособие / Под ред. Е. А. Мешалкина. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2003. — 261 с.
13. Родионов Е. Г. Продолжительность тушения пожаров на выездах определенных категорий // Материалы 12-й научно-технической конференции “Системы безопасности–2003”. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2003. URL: <http://agps-2006.narod.ru/konf/2003/sb-2003/sec-2/16.pdf> (дата обращения: 10.04.2017).
14. Волгин Н. С., Махров Н. В., Юровский В. А. Исследование операций. — Л. : ВМА, 1981. — 605 с.
15. Динер И. Я. Исследование операций. — Л. : ВМОЛУА, 1969. — 606 с.

Материал поступил в редакцию 29 августа 2017 г.

Для цитирования: Каменецкая 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.

English

COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO TACTICAL PROCEDURES OF FIRE EXERCISE AND CARRYING OUT EMERGENCY RESCUE OPERATIONS BY THE FIRE DIVISIONS OF THE MES OF RUSSIA

KAMENETSKAYA N. V., Candidate of Technical Sciences, Professor of Higher Mathematics 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 Mathematics 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., Lecturer of Higher Mathematics 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: khitoff_s@mail.ru)

GROMOV V. N., Doctor of Technical Sciences, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Polytechnicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation)

ABSTRACT

One of the urgent tasks facing the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergency Situations and Elimination of Consequences of Natural Disasters (MES of Russia) is the development of new tactical procedure (TP) of the actions of the fire and rescue units. There is appeared the problem of choosing the most effective solutions to solve the operational task (fire extinguishing, rescue and salvage operations, emergency response (FEER), to eliminate the consequences of emergency situations (ES)).

In the context of the RSO, which requires significant material and time costs, as well as carrying a certain danger to the fighters of the units of the Ministry of Emergency Situations, repeated exercises to accumulate statistical material can not be considered efficient. Mathematical modeling makes it possible to reduce costs and risks during such experiments (exercises).

The purpose of this study is to demonstrate the relative simplicity, availability, rather high accuracy and reliability of the sequential analysis method (SAM) in applying to the decision of the task of choosing from two tactical techniques of one — having advantages over selected parameters.

The article substantiates the derivation of the formulas on which the method is based, gives an example of its practical implementation in two forms — in graphical and tabular format. The range of tasks of the operational activities of the Ministry of Emergencies (MES) of Russia is formulated, the solution of which can be implemented with the application of the presented method.

The study based on SAM data of a repeated comparative evaluation of the effectiveness of two exercises (exercises), are carried out simultaneously. The specificity of the method lies in the fact that all cases when the results of using two TPs are the same are excluded from the analysis, that is, both methods were either successful or unsuccessful in terms of achieving the goal of the exercise.

Upon completion of the sequence of actions envisaged by the SAM, a recommendation is made for choosing one of the two tested TPs.

The application of SAM to the selection of the most effective of the two new TPs is of particular importance, since the use of classical methods of mathematical statistics to solve this problem with a sufficiently high accuracy and reliability would require at least a twofold increase in the number of exercises conducted compared to the one-TP test.

Keywords: mathematical modeling; sequential analysis; checking statistical hypotheses; assessing the quality of tactical procedures of fire forces; fire-rescue units.

REFERENCES

1. *Urban Development Code of the Russian Federation* (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (Accessed 10 August 2017).
2. 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).
3. 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).
4. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B. Mathematical modeling in planning to conduct blasting operations on the rivers in the flood period. *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii / Modern Trends in the Development of Science and Technology*, 2016, no. 6-1, pp. 22–27 (in Russian).
5. Akbar N. S., Beg O. A. (eds.). *Modeling and simulation in engineering sciences*. New York, iTexLi, 2016. 289 p. DOI: 10.5772/62109.
6. 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.
7. 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.
8. *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 April 2017).
9. Wald A. *Sequential analysis*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1947. 221 p. (Russ. ed.: Wald A. *Posledovatelnyy analiz*. Moscow, Fizmatlit Publ., 1960. 328 p.).
10. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Shchetka V. Ph., Khitov S. B. Application of sequential analysis for simulation decision-making process in the operational activities of Emercom of Russia. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2016, no. 3(39), pp. 73–81 (in Russian).
11. 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. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 5, pp. 5–12 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.5-12.
12. Terebnev V. V., Terebnev A. V. Ed. by Meshalkin E. A. *Upravleniye silami i sredstvami na pozhare. Uchebnoye posobiye* [Management of forces and means on a fire. Textbook]. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, 2003. 261 p. (in Russian).
13. Rodionov E. G. The duration of extinguishing fires on exits of certain categories. In: *Materialy 12-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Sistemy bezopasnosti–2003"* [Proceedings of 12th Scientific-Technical Conference "Safety Systems–2003"]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2003 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/konf/2003/sb-2003/sec-2/16.pdf> (Accessed 10 April 2017).
14. Volgin N. S., Makhrov N. V., Yurovskiy V. A. *Issledovaniye operatsiy* [Operations research]. Leningrad, Naval Academy Publ., 1981. 605 p. (in Russian).
15. Diner I. Ya. *Issledovaniye operatsiy* [Operations research]. Leningrad, VMOLUA Publ., 1969. 606 p. (in Russian).

For citation: 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. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 10, pp. 20–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.20-26.