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)

Е. Н. БАРДУЛИН, канд. экон. наук, профессор, начальник кафедры управления и интегрированных маркетинговых коммуникаций, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: uiimk@mail.ru)

УДК 614.849

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ТАКТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРОВ И ПРОВЕДЕНИЮ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

Рассмотрена возможность математического моделирования процесса проверки на соответствие заданным нормативным требованиям новых тактических приемов действий пожарно-спасательных подразделений Федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС России по тушению пожаров. Предложена методика выработки решения о целесообразности принятия на вооружение нового тактического приема, основанная на методе последовательного анализа. С помощью классических положений теории вероятностей и математической статистики подтверждены формулы, положенные в основу метода. Приведен пример его практической реализации. Сформулированы рекомендации по использованию метода при решении других задач оперативной деятельности МЧС России.

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

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.5-12

Введение

Одним из основных направлений, способствующих решению поставленных перед пожарно-спасательными подразделениями (ПСП) ФПС МЧС России задач, является разработка новых тактических приемов (далее — ТП) ведения оперативных действий на пожарах и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Несомненно, принятию на вооружение новых тактических приемов действий сил пожарно-спасательных подразделений должен предшествовать ряд экспериментов (учений), доказывающих их более высокую эффективность (по заданным критериям) по сравнению с существующими.

Однако проведение натурных экспериментов для испытания новых образцов дорогостоящей техники, вооружения, материалов, средств индивидуаль-

ной защиты, тактических приемов действий ПСП в различных опасных ситуациях требует больших затрат сил, средств и времени. Кроме того, эксперимент невозможен в тех случаях, когда он связан с угрозой для жизни или здоровья людей.

Очевидно, что исследование перечисленных процессов и объектов невозможно без применения математического моделирования, эффективность использования которого в различных сферах прикладной науки уже неоднократно подтверждалась [1–6].

Цели и задачи исследования

Рассмотрим возможность математического моделирования процесса выработки научно обоснованного решения о принятии на вооружение нового тактического приема на основе проверки его соответствия требованиям по эффективности.

Подобные исследования предполагают знание соответствующей вероятностной характеристики [7]. Однако на практике, как правило, требуемая вероятностная характеристика неизвестна, и для нее может быть получена только статистическая оценка, которая будет тем точнее и надежнее, чем больше число проведенных испытаний.

С учетом имеющихся ограничений на затраты сил, материальных средств, ресурсов и времени, необходимых для получения требуемой статистической оценки, возникает задача обеспечения ее достаточно высокой точности и надежности при сравнительно небольшом числе испытаний.

Принимая во внимание все перечисленные условия, рассмотрим задачу выработки решения о целесообразности принятия на вооружение вновь разработанного ТП при ограниченном числе учений (опытных данных).

Методы исследования

Воспользуемся методом, при котором число наблюдений (в отличие от других статистических методов) заранее не определяют, а решение об окончании эксперимента по проверке разработанного тактического приема принимают по результатам каждого этапа эксперимента (учения). Таким образом, каждый последующий опыт (учение) следует проводить лишь после того, как анализ полученных до него результатов покажет необходимость продолжения экспериментов. Такой метод математической статистики называется методом последовательного анализа (МПА), создателем которого является А. Вальд [8].

Основное достоинство МПА по сравнению с классическими методами математической статистики заключается в том, что он требует значительно меньшего числа наблюдений, что при указанных выше условиях и ограничениях дает возможность принимать гарантированное научно обоснованное управленческое решение.

Формирование решения о целесообразности принятия на вооружение нового ТП с помощью МПА

В методе последовательного анализа формулируются две статистические гипотезы — в нашем случае о соответствии (H_0) и несоответствии (H_1) нового ТП нормативным требованиям по эффективности.

Постановка задачи. На основании анализа оперативной деятельности ПСП разработан новый тактический прием ведения действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ (ликвидации последствий ЧС).

Определяются требования, которым должен отвечать новый ТП [9]. Например, задаются вероят-

ность ликвидации пожара за нормативное время или математическое ожидание максимального предотвращенного материального ущерба, наносимого ЧС (пожаром), которые должны быть не меньше заданной величины. Для оценки эффективности нового ТП требуется проверка его на учениях (испытаниях). Необходимо на основании ограниченного числа таких учений с применением МПА принять решение о целесообразности принятия нового ТП на вооружение.

В качестве вероятностной характеристики и критерия эффективности примем вероятность того, что пожар будет потушен за время, не превышающее установленное:

$$P(t_{\text{тп}} \leq t_{\text{уст}}) = W \geq P_{\text{уст}}$$

где $P_{\text{уст}}$ — наименьшее допустимое в рассматриваемых условиях оперативной обстановки значение вероятности выполнения задачи при реализации исследуемого ТП;

$t_{\text{тп}}$ — время тушения пожара при использовании исследуемого ТП;

$t_{\text{уст}}$ — предельное время тушения пожара, установленное экспертами;

W — критерий эффективности ТП.

Иначе говоря, будем считать ТП целесообразным, если ему соответствует вероятность выполнения задачи $W \geq P_{\text{уст}}$, и нецелесообразным, если $W < P_{\text{уст}}$.

Заметим, что определение установленного времени тушения пожара не входит в задачу данного исследования; оно может быть задано, например, на основании статистических данных, полученных при изучении процессов тушения реальных пожаров [10].

Как уже отмечалось выше, число необходимых наблюдений заранее не устанавливается. Результаты каждого из учений последовательно анализируются, и на основании анализа рекомендуется одно из трех решений:

- 1) считать ТП эффективным по заданному критерию и принять его на вооружение (реализация гипотезы H_0);
- 2) отклонить ТП, считать его непригодным для выполнения поставленной задачи (реализация гипотезы H_1);
- 3) провести еще одно испытание, так как полученной информации недостаточно для того, чтобы принять либо отвергнуть гипотезу H_0 или H_1 .

Если принимается первое или второе решение, то эксперимент заканчивается, если же третье, то он продолжается. Таким образом, количество испытаний является случайной величиной.

Для вывода формул, позволяющих осуществить статистическую оценку исследуемой вероятностной

характеристики и получить ее граничные значения, рассмотрим условный процесс последовательного анализа при проверке тактического приема на соответствие предъявляемым требованиям [8, 11].

На основании опыта, условий, а также нормативных требований к ТП устанавливается некоторое пороговое значение вероятности p' того, что ТП может быть непригодным. Если при этом окажется, что истинное значение доли неудачных испытаний исследуемого ТП p меньше p' , то делается вывод, что ТП соответствует предъявляемым требованиям, является эффективным и может быть поставлен на вооружение (принимается гипотеза H_0). При $p > p'$ ТП следует считать непригодным для выполнения поставленной задачи по ликвидации пожаров.

В условиях неопределенности относительно точного знания вероятности, что ТП будет неэффективным, допускается возможность совершения ошибки. Не исключено, что может быть принято решение об отклонении эффективного ТП или о принятии ТП, не соответствующего требованиям. Ошибки в рекомендации принять или отклонить ТП тем более существенны, чем значительно отличается установленное пороговое значение p' от точного значения p . Если эти величины близки ($p \approx p'$), то ошибки не критичны.

Таким образом, вокруг порогового значения p' создается некоторая зона безразличия к указанным ошибкам [8, 11]. Установим нижнюю и верхнюю границы зоны, за пределами которой такие ошибки недопустимы, в виде вероятностей p_0 и p_1 , причем $p_0 < p'$, $p_1 > p'$.

Тогда можно выделить три зоны относительно порогового значения вероятности (рис. 1):

- зону принятия ТП, $p' \leq p_0$;
- зону отклонения ТП, $p' \geq p_1$;
- зону безразличия (неопределенности), $p_0 < p' < p_1$.

Считается, что допущена ошибка первого рода, если отвергнута верная гипотеза H_0 , т. е. в условиях нашей задачи не принят ТП, отвечающий требованиям, при малой доле неудачных учений ($p \leq p_0$), а также ошибка второго рода, т. е. принята неверная гипотеза H_0 , а значит, принят непригодный ТП при $p \geq p_1$.

В каждой задаче проверки статистических гипотез устанавливаются допустимые вероятности α и β совершения ошибки первого и второго рода со-

Рис. 1. Зоны возможных значений p относительно порогового значения вероятности p'

ответственно в зависимости от тяжести их последствий. При решении каждой практической задачи числовые значения α и β , а также p_0 и p_1 следует устанавливать используя опыт прежних наблюдений и условия проведения конкретных испытаний.

Тогда допускаемый риск определяется величинами p_0 , p_1 , α и β . Если они заданы, то при испытании ТП необходимо потребовать, чтобы вероятность посчитать его непригодным при $p \leq p_0$ была не больше α , а вероятность рекомендовать ТП к применению при $p \geq p_1$ была не больше β . Тогда граничные условия можно сформулировать так: вероятность забраковать ТП при $p = p_0$ равна α , а вероятность считать целесообразным принять ТП при $p = p_1$ равна β .

Для ошибки первого рода стандартными считаются значения $\alpha = 0,005; 0,01; 0,05; 0,10$, хотя можно выбрать и любое другое. В технических исследованиях чаще всего принимают $\alpha = 0,05$, а в исследованиях, тесно связанных с риском для жизни и здоровья людей, — $\alpha = 0,01$.

В рамках поставленной выше задачи ТП считается эффективным для тушения пожаров, если процент (доля) учений с неудачным результатом p не превышает p_0 , и неэффективным, если p не менее p_1 .

Цель моделирования — разработать рекомендации по принятию решения об эффективности или неэффективности ТП в ходе учений методом последовательного анализа.

Для разработки математической модели проверки нового ТП предположим, что проведено n учений, из которых m оказались с неудачным результатом и $(n - m)$ — с удачным [11, 12].

При доле неудачных учений p вероятность такого набора удачных и неудачных учений

$$P_n(p) = p^m (1 - p)^{n-m}. \quad (1)$$

Эта вероятность называется *функцией правдоподобия* гипотезы о том, что доля неудачных учений равна p .

Рассмотрим значения функции (1) на верхней и нижней границах зоны неопределенности: $P_n(p_1)$ и $P_n(p_0)$ — вероятности того, что при проверке n изделий ровно m из них будут бракованными, если $p = p_1$ и $p = p_0$ (см. рис. 1).

В качестве критерия последовательной проверки будем использовать *коэффициент правдоподобия* μ [11]:

$$\mu = \frac{P_n(p_1)}{P_n(p_0)}. \quad (2)$$

Коэффициент правдоподобия, таким образом, равен отношению вероятности реализации гипотезы H_1 к вероятности реализации гипотезы H_0 .

Рис. 2. Зоны значений коэффициента μ при проверке нового ТП

Чем больше величина μ , тем больше оснований признать тестируемый ТП неэффективным для успешного тушения пожаров. При малом μ новый ТП следует считать соответствующим нормативным требованиям и рекомендовать его для применения в оперативной деятельности пожарного подразделения. И в том, и в другом случае проверка прекращается. Если же коэффициент μ принимает некоторое промежуточное значение, то требуется проведение очередного учения.

Принцип последовательного анализа с вычислением коэффициента правдоподобия заключается в следующем (рис. 2) [8, 11]:

- при $\mu \geq A$ новый ТП отклоняют, как не отвечающий предъявляемым требованиям (верна гипотеза H_1);
- при $\mu \leq B$ новый ТП принимают (верна гипотеза H_0);
- при $B < \mu < A$ следует провести новое испытание.

Определим предельные значения A и B как функции от вероятностей совершить ошибки первого и второго рода.

Новый ТП отклоняется из-за того, что он не соответствует требованиям и не совершена ошибка второго рода с вероятностью $1 - \beta$ на верхней границе, либо из-за ошибки первого рода на нижней границе, вероятность которой равна α . В этом случае

$$\mu = \frac{1 - \beta}{\alpha} \geq A. \quad (3)$$

Новый ТП принимается, когда совершается ошибка второго рода на верхней границе с вероятностью β либо когда он соответствует требованиям, и при этом не совершена ошибка первого рода с вероятностью $1 - \alpha$. Тогда

$$\mu = \frac{\beta}{1 - \alpha} \leq B. \quad (4)$$

Проверку следует продолжить, если

$$\frac{\beta}{1 - \alpha} < \mu < \frac{1 - \beta}{\alpha}. \quad (5)$$

Таким образом, можно обозначить:

$$A = \frac{1 - \beta}{\alpha}; \quad B = \frac{\beta}{1 - \alpha}. \quad (6)$$

Определим зависимость числа m неудачных учений от случайного количества испытаний n и от величин p_0 , p_1 , α и β .

Обозначим: $q_1 = 1 - p_1$; $q_0 = 1 - p_0$.

Далее, используя формулы (1), (2) и (6), преобразуем неравенство (5):

$$\frac{\beta}{1 - \alpha} < \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^m \left(\frac{q_1}{q_0} \right)^{n-m} < \frac{1 - \beta}{\alpha}. \quad (7)$$

Прологарифмируем неравенство (7), выполнив необходимые преобразования с использованием свойств логарифмов [8, 11, 12], и получим новое неравенство:

$$\begin{aligned} \frac{\ln \frac{\beta}{1 - \alpha}}{\ln \left(\frac{p_1}{p_0} \frac{q_0}{q_1} \right)} + n \frac{\ln \frac{q_0}{q_1}}{\ln \left(\frac{p_1}{p_0} \frac{q_0}{q_1} \right)} < m < \\ < \frac{\ln \frac{1 - \beta}{\alpha}}{\ln \left(\frac{p_1}{p_0} \frac{q_0}{q_1} \right)} + n \frac{\ln \frac{q_0}{q_1}}{\ln \left(\frac{p_1}{p_0} \frac{q_0}{q_1} \right)}. \end{aligned} \quad (8)$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} a &= \frac{\ln \frac{1 - \beta}{\alpha}}{\ln \left(\frac{p_1}{p_0} \frac{q_0}{q_1} \right)}; \quad b = \frac{\ln \frac{\beta}{1 - \alpha}}{\ln \left(\frac{p_1}{p_0} \frac{q_0}{q_1} \right)}; \\ k &= \frac{\ln \frac{q_0}{q_1}}{\ln \left(\frac{p_1}{p_0} \frac{q_0}{q_1} \right)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда неравенство (8) можно записать в виде:

$$b + nk < m < a + nk. \quad (10)$$

Неравенство (10) позволяет сформировать рекомендации по принятию решения в ходе испытаний в зависимости от количества неудачных учений с применением нового ТП:

- 1) новый тактический прием отклонить, $m \geq a + nk$;
- 2) новый тактический прием принять, $m \leq b + nk$;
- 3) провести еще одно испытание, $b + nk < m < a + nk$.

Практическая реализация МПА при проверке нового ТП. Графическая интерпретация метода

Применение такой формы метода осуществляется благодаря построению специального графика до начала эксперимента [8, 11, 12]. С этой целью задают вначале значения W , p_0 , p_1 , α и β .

Например, считают, что ТП целесообразен, если ему соответствует вероятность выполнения задачи $W \geq 0,9$ и нецелесообразен при $W < 0,9$ [13].

Затем для определения зоны неопределенности и допустимого риска, связанного с неправильным решением, устанавливают следующие требования:

- решение о том, что ТП целесообразен при $W < 0,8$, должно приниматься с вероятностью не более 0,30;
- решение о том, что ТП нецелесообразен при $W > 0,96$, должно приниматься с вероятностью не более 0,05.

Исходя из этих условий рассчитывают p' , p_0 и p_1 при $\alpha = 0,05$ и $\beta = 0,3$:

$$p' = 1 - 0,9 = 0,1;$$

$$p_0 = 1 - 0,96 = 0,04;$$

$$p_1 = 1 - 0,8 = 0,2.$$

Затем по формулам (9) определяют значения a , b и k при указанных значениях p_0 , p_1 , α и β и строят две параллельные прямые, соответствующие уравнениям $m_0 = b + kn$ и $m_1 = a + kn$. Так как всегда $p_0 \leq p_1$, то $k < 1$, т. е. угол наклона прямых m_0 и m_1 к оси абсцисс меньше 45° .

Продemonстрируем, как пользоваться графиком на примере при $p_0 = 0,04$; $p_1 = 0,2$; $\alpha = 0,05$; $\beta = 0,3$.

В соответствии с формулами (9) $a = 1,47$; $b = -0,64$; $k = 0,10$.

Прямые $m_1 = 1,47 + 0,1n$ и $m_0 = -0,64 + 0,1n$ (рис. 3) отсекают на оси m отрезки $a = 1,47$ и $b = -0,64$ и образуют с положительным направлением оси абсцисс угол $5,7^\circ$. Точка пересечения прямой $m_0 = -0,64 + 0,1n$ с горизонтальной осью имеет координаты $(6,4; 0)$. Между параллельными прямыми m_0 и m_1 находится зона неопределенности. Таким образом, попадание точки $(n; m)$ в область, находящуюся левее и выше прямой m_1 , соответствует случаю, когда новый ТП необходимо отклонить, а правее и ниже прямой m_0 — когда необходимо его принять.

Далее начинается последовательная проверка. Пусть, например, первое учение с применением нового ТП прошло успешно, что соответствует точке с координатами $(1; 0)$, которая находится в зоне неопределенности. Следовательно, необходимо провести очередное учение. Предположим, во втором и третьем учениях ТП также соответствовал предъявляемым требованиям. Точки $(2; 0)$, $(3; 0)$ лежат на оси n и, следовательно, попадают в область неопре-

деленности, а значит, необходимо продолжить испытание. Пусть четвертое учение с применением нового ТП оказалось неудачным. К линии, проходящей через точки $(1; 0)$, $(2; 0)$, $(3; 0)$, добавляется звено с вершиной в точке $(4; 1)$. Процесс продолжается до тех пор, пока ломаная, соединяющая точки (n_i, m_i) (где i — номер учения), не пересечет линию m_0 или m_1 .

График на рис. 3 иллюстрирует пример последовательного анализа, когда в четвертом, шестом и восьмом учениях новый ТП оказался не отвечающим предъявляемым требованиям по эффективности. В этом случае после восьмого опыта ломаная линия пересекает прямую $m_1 = 1,47 + 0,1n$ и оказывается в зоне принятия решения об отклонении нового ТП. Итак, чтобы сформировать решение об эффективности нового ТП действий сил, в нашем примере потребовалось провести восемь учений.

Табличная интерпретация метода

Продemonстрируем возможность использования таблицы для последовательного анализа на пригодность нового ТП [11, 12]. В этом случае до начала проведения исследования потребуется рассчитать значения m_1 и m_0 для некоторого количества учений n : $m_1 = 1,47 + 0,1n$ и $m_0 = -0,64 + 0,1n$. Принято называть m_0 приемочным числом, а m_1 — браковочным [11]. При заполнении таблицы в графу со значениями m_0 имеет смысл включать только положительные числа, так как число m , которое будет сравниваться с m_0 , всегда неотрицательно.

В ходе последовательного анализа в каждом опыте подсчитывают количество m проведенных на данный момент учений, не соответствующих предъявляемым требованиям. Результаты заносят в таблицу.

Как и при использовании графического метода, проверка продолжается до тех пор, пока не будет выполнено условие $m_0 < m < m_1$. При первом случае невыполнения указанного неравенства проверка прекращается, а именно:

- если $m \leq m_0$, то рекомендуется принять новый ТП к применению в оперативной деятельности пожарных подразделений;

Рис. 3. График последовательного анализа нового тактического приема

- если $m > m_1$, то рекомендуется отклонить новый ТП.

В результате последовательного анализа после восьмой проверки сформировано решение о том, что новый ТП действий ПСП не отвечает предъявляемым требованиям по критерию эффективности при тушении пожаров, поэтому следует рассмотреть более эффективный ТП.

Выводы

Очевидно, что математическое моделирование с помощью метода последовательного анализа практически полезно и позволяет принимать гарантированное и научно обоснованное решение относительно новых разработанных тактических приемов действий ПСП с высокой надежностью и точностью в соответствии с требуемым критерием эффективности выполнения поставленной задачи по тушению пожаров разных уровней сложности сравнительно за небольшое количество испытаний (учений).

Отметим, что рассмотренный в статье метод применим для решения широкого круга задач оперативной деятельности МЧС России, например для

Номер опыта n	Приемочное число m_0	Количество учений с неудачным результатом m	Браковочное число m_1
1	—	0	1,57
2	—	0	1,67
3	—	0	1,77
4	—	1	1,87
5	—	1	1,97
6	—	2	2,07
7	0,06	2	2,17
8	0,16	3	2,27

моделирования процесса формирования решения о принятии на вооружение нового образца средства индивидуальной защиты или выработки решения о том, является ли кондиционной партия пожарно-технического вооружения, хранящаяся на складе [12]. Важно, чтобы исследуемый процесс можно было описать с помощью случайной величины, принимающей только два возможных значения — 0 и 1 (например, образец годен или не годен; боевая задача выполнена или не выполнена).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Akbar N. S., Beg O. A. (eds.) Modeling and simulation in engineering sciences. — New York : iTexLi, 2016. — 289 p. DOI: 10.5772/62109.
5. 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.
6. 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.
7. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изм. на 14.12.2010) : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 10.04.2017).
8. Вальд А. Последовательный анализ / Пер. с англ. — М. : Физматлит, 1960. — 328 с.
9. 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).
10. 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).
11. Волгин Н. С., Махров Н. В., Юровский В. А. Исследование операций. — Л. : ВМА, 1981. — 605 с.

12. 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.
13. Динер И. Я. Исследование операций. — Л. : ВМОЛУА, 1969. — 606 с.

Материал поступил в редакцию 18 апреля 2017 г.

Для цитирования: 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. — 2017. — Т. 26, № 5. — С. 5–12. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.05.5-12.

English

JUSTIFICATION OF EFFECTIVE TACTICAL PROCEDURE CHOICE FIRE-FIGHTING WRECKING BY MEANS OF SEQUENTIAL ANALYSIS METHOD

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., Lecturer 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: khitoff_s@mail.ru)

BARDULIN E. N., Candidate of Economical Sciences, Chief of the Department Management and Integrated Marketing Communications, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: uiimk@mail.ru)

ABSTRACT

One of the main directions assisting in solving the tasks setting in front of the Fire and Rescue Division of Federal Fire Service of Emercom of Russia is the development of new tactical procedures (TP) of conducting operational activities during the fires and emergencies.

Herewith the fire-rescue forces new TP adopting must be preceded by a number of trainings (experiments) proving its higher efficiency (based on specified criteria) compared to the existing ones.

However, experiments for testing new TP requires large expenditure of forces, time and money. Moreover, the experiment is not possible in cases of its connection with life or health risks.

Under these conditions and restrictions it is necessary to adopt or reject the new developed TP of forces action in a limited number of exercises. The math statistics method, called the sequential analysis method (SAM), allows not pre-determine the number of required observations. The solution at the end of checking developed TP experiment is taken at each experiment (exercise) stage. It depends on previous tests results.

The main advantage of the SAM in comparison with the classical math statistics methods (author — A. Wald) is the much smaller number of observations.

The possibility of decision making process math modeling of adopting the Fire and Rescue Division of the Federal Fire Service of Emercom of Russia new tactic action by means of SAM is considered in the article. The underlying method formula conclusion is justified. The both interpretations — graphical and tabular are presented.

The examples of SAM practical realization in cases no reason to give preference to either of two action modes before the experiment are presented.

Obviously, the SAM math modeling is practically useful and allows to take the guaranteed and science-based decision on the new developed forces action TP with high reliability and precision for a relatively small number.

Keywords: math modeling; sequential analysis; verification of statistical hypotheses; evaluation of the quality of tactical methods of forces actions; fire-rescue units.

REFERENCES

1. 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).
2. Kamenetskaya N. V., Medvedeva O. M., Khitov S. B. Application of methods of mathematical modeling 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).
3. 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).
4. Akbar N. S., Beg O. A. (eds.). *Modeling and simulation in engineering sciences*. New York, iTeXLi, 2016. 289 p. DOI: 10.5772/62109.
5. 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.
6. 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.
7. *The procedure for determining estimated fire risk values at production facilities*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (Accessed 10 April 2017).
8. 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.
9. *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).
10. Rodionov E. G. The duration of extinguishing fires on exits of certain categories. In: *Materialy 12-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Sistemy bezopanosti-2003"* [Proceedings of 12th Scientific-Technical Conference "Safety Systems-2003"]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russian Publ., 2003 (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/konf/2003/sb-2003/sec-2/16.pdf> (Accessed 10 April 2017).
11. Volgin N. S., Makhrov N. V., Yurovskiy V. A. *Issledovaniye operatsiy* [Operations research]. Leningrad, Naval Academy Publ., 1981. 605 p. (in Russian).
12. 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).
13. 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., 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.