

*В.М. Стрелец, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
М.В. Васильев, нач. сектора ГУ ГСНС України в Харьковской обл.,
В.В. Тригуб, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАТИВОВ

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

Проверена эффективность подготовки спасателей к ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросами опасных химических веществ с использованием нормативов, опирающихся на расчет обратных функций нормального распределения, полученных как путем натурального, так и имитационного на ЭВМ эксперимента. Показано, что с уровнем значимости $\alpha=0,05$ сокращение времени выполнения типовых операций (процессов) является существенным.

Ключевые слова: норматив, подготовка, спасатель, время выполнения, операция, процесс.

Постановка проблемы. Для оценки уровня подготовленности спасателей используются нормативы, под которыми понимается [1] сопоставительная норма, имеющая в своей основе сравнение людей, относящихся к одной и той же совокупности. Однако говорить об эффективности использования нормативных оценок можно только после сравнения результатов сопоставительных (без использования и с использованием нормативов) экспериментальных исследований.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что как в физической культуре [1], так и в практике подразделений оперативно-спасательных служб [2, 3] о необходимости использования нормативных оценок пишут, опираясь на экспертные выводы специалистов, которые организуют процесс соответствующей подготовки. Психологические аспекты, в основе которых лежит самораскрытие природной естественности обучаемого и его врожденных свойств, эффективности использования нормативов рассмотрены в [4] на примере подготовки бойца к рукопашному бою. Однако и в этом случае об уровне статистической значимости сделанных выводов ничего не сказано.

Постановка задачи и ее решение. Исходя из этого, поставлена задача статистической оценки эффективности подготовки спасателей с использованием нормативов.

Для этого нормативы, обоснование которых приведено в [5], были озвучены в ходе первоначальной подготовки спасателей. Отдельно рассматривались ситуации робинга КСИЗ 1 типа и робинга

КСИЗ в комбинації с фільтруючим протипогозом, а також виконання комплексного завдання (локалізації аварії методом реконденсації).

Результати робінга КСИЗ (в третій спробі для комбинації ізолюючого костюма с фільтруючим протипогозом и в четвертій – для КСИЗ 1-го типу [6]) приведені в табл. 1 и табл. 2. Там же приведені оцінки математических очідувань и середнеквадратических відхилення.

Ето дозволяє перевірити, значимо ли различаються середні значення, отримані по двум незалежним виборкам робінга КСИЗ (без використання розробанного норматива $\bar{t}_{робінг до}$ и с его використанням $\bar{t}_{робінг после}$), используя t-критерій Стюдента.

Табл. 1. Результати робінга ізолюючого костюма с фільтруючим протипогозом при наличии нормативов

Испытуемый	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{робінг после}, с$	246	128	136	245	190	222	238	234	269	190	164	150
Испытуемый	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$t_{робінг после}, с$	238	237	126	116	259	302	203	244	265	242	117	209
$\bar{t}_{робінг после}, с$	207,08											
$G_{робінг после}, с$	54,45											

Табл. 2. Результати робінга КСИЗ 1 типа при наличии нормативов

Испытуемый	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{робінг после}, с$	266	121	302	288	167	292	257	196	251	213	222	184
Испытуемый	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$t_{робінг после}, с$	183	146	253	163	194	130	237	194	184	209	244	200
$\bar{t}_{робінг после}, с$	212,33											
$G_{робінг после}, с$	49,96											

В этом случае рассматривается гипотеза

$$H_0 : \bar{t}_{робінг до} = \bar{t}_{робінг после} \quad (1)$$

и ее альтернатива

$$H_0 : \bar{t}_{робінг до} \neq \bar{t}_{робінг после} \quad (2)$$

которая доказывает различие средних значений.

С целью выбора конкретной методики расчета t-критерия [7] вначале была проверена гипотеза о равенстве дисперсий.

Было проверено равенство дисперсий, полученных в ходе обработки исходных экспериментов, по которым были получены

нормативные оценки [5], и соответствующих дисперсий, вычисленных по результатам натуральных экспериментов (см. табл. 1, 2) после реализации предложенных нормативов. В качестве критерия для проверки ноль-гипотезы

$$H_0 : G^2_{\text{робинг до}} = G^2_{\text{робинг после}} \quad (3)$$

был выбран F-критерий [84]

$$F = G_1^2 / G_2^2, \quad (4)$$

где G_1^2 – большая из оценок дисперсий в двух выборках.

При этом критическое значение $F_{кр}$, которое при уровне значимости $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы

$$\nu_{до} = n_{до} - 1 = 23, \quad \nu_{после} = n_{после} - 1 = 23, \quad (5)$$

где $n_{до} = n_{после} = 24$ – количество натуральных экспериментов по робингу КСИЗ, по результатам которых оценивались статистические характеристики полученных распределений, равно [7]

$$F_{кр} = F_{табл} = 2,3. \quad (6)$$

Сравнение (4) с (6) показывает

$$F = \begin{cases} \frac{G^2_{после}(ИК + ФП)}{G^2_{до}(ИК + ФП)} = \frac{54,45^2}{52,6^2} = 1,07 \\ \frac{G^2_{после}(КСИЗ 1)}{G^2_{до}(КСИЗ 1)} = \frac{49,96^2}{47,61^2} = 1,1 \end{cases} < F_{кр} = F_{табл} = 2,3. \quad (7)$$

Видно, что в рассмотренных случаях правомерной признается ноль-гипотеза (3) и допускается равенство дисперсий

$$G^2_{до}(ИК + ФП) = G^2_{после}(ИК + ФП) \quad (8)$$

и

$$G^2_{до}(КСИЗ 1) = G^2_{после}(КСИЗ 1). \quad (9)$$

Исходя из этого, стандартная ошибка разности S_x , с учетом того, что выборки малого размера (<30), и число степеней свободы ν при

вычисления t-критерия рассчитываются [7] следующим образом

$$S_x = \sqrt{\frac{(n_{до} - 1) \cdot G_{робинг до}^2 + (n_{после} - 1) \cdot G_{робинг после}^2}{n_{до} + n_{после} - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_{до}} + \frac{1}{n_{после}} \right)} = \quad (10)$$

$$= \begin{cases} 15,45 - \text{для робинга ИК + ФП;} \\ 14,09 - \text{для робинга КСИЗ 1;} \end{cases}$$

$$\nu = n_{до} + n_{после} - 2 = 46. \quad (11)$$

В результате

$$t_{набл} = \frac{|\bar{t}_{робинг до} - \bar{t}_{робинг после}|}{S_x} = \quad (12)$$

$$= \begin{cases} \frac{|\bar{t}_{робинг до} (ИК + ФП) - \bar{t}_{робинг после} (ИК + ФП)|}{S_x (ИК + ФП)} \\ \frac{|\bar{t}_{робинг до} (КСИЗ 1) - \bar{t}_{робинг после} (КСИЗ 1)|}{S_x (КСИЗ 1)} \end{cases} =$$

$$= \begin{cases} \frac{|239,5 - 207,08|}{15,45} = 2,1 \\ \frac{|244,5 - 212,33|}{14,09} = 2,28 \end{cases} > t_{табл} (\alpha = 0,05) = 2,01.$$

Видно, что значения t-критерия $t_{набл}$ больше критического значения t-критерия $t_{табл}$ при заданном уровне значимости $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $\nu=46$. Это говорит о том, что на уровне значимости α (вероятность ошибки меньше 5%) можно принять гипотезу H_0 .

Следовательно, сокращение времени выполнения робинга КСИЗ (как в случае робинга изолирующего костюма в сочетании с фильтрующим противогазом, так и в случае робинга КСИЗ первого типа) в результате подготовки с использованием предложенных нормативов является статистически значимым.

Проверка того, значимо ли различаются средние значения, полученные по двум независимым выборкам (по результатам имитационного $\bar{t}_{им}$ моделирования на ЭВМ, которые легли в основу предложенных нормативов [5], и натуральных $\bar{t}_{нат}$ экспериментов (см. табл. 3, 4), которые проводились после двух тренировочных попыток при выполнении задания личным составом в изолирующих костюмах и фильтрующих противога-

зах, и трех тренировочных попыток – при выполнении задания в КСИЗ первого типа), выполнялась с использованием t-критерий Стьюдента.

Табл. 3. Результаты локализации аварии в изолирующем костюме с фильтрующим противогазом при наличии нормативов

Расчет	1	2	3	4	5	6	$\bar{t}_{нат}, c$	$G_{нат}, c$
$t_{нат}(ИК + ФП), c$	600	670	580	570	450	360	538,33	112,68

Табл. 4. Результаты локализации аварии в КСИЗ первого типа при наличии нормативов

Расчет	1	2	3	4	5	6	$\bar{t}_{нат}, c$	$G_{нат}, c$
$t_{нат}(КСИЗ 1), c$	610	415	450	590	720	510	549,17	113,07

В этом случае рассматривается гипотеза

$$H_0: \bar{t}(нат) = \bar{t}(им) \quad (13)$$

и ее альтернатива

$$H_1: \bar{t}(нат) \neq \bar{t}(им), \quad (14)$$

которая доказывает различие средних значений.

С целью выбора конкретной методики расчета t-критерия [7] была проверена гипотеза о равенстве дисперсий имитационного и натурального экспериментов (гипотеза $H_0: G_{нат}^2 = G_{им}^2$ и ее альтернатива $H_1: G_{нат}^2 \neq G_{им}^2$).

Рассчитанные значения F-критерия больше табличного

$$F_{набл} = \frac{G_{им}^2}{G_{нат}^2} = \begin{cases} \frac{G_{нат}^2(ИК + ФП)}{G_{им}^2(ИК + ФП)} = \frac{112,68^2}{59,09^2} = 3,64 \\ \frac{G_{нат}^2(КСИЗ 1)}{G_{им}^2(КСИЗ 1)} = \frac{113,07^2}{66,2^2} = 2,92 \end{cases} > F_{табл} = 2,3, \quad (15)$$

полученного при уровне значимости $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы

$$\nu_{им} = n_{им} - 1 = 99, \quad \nu_{нат} = n_{нат} - 1 = 5, \quad (16)$$

где $n_{им} = 100$ – количество имитационных экспериментов на ЭВМ; $n_{нат} = 6$ – количество натуральных экспериментов.

В результате принимается гипотеза H_1 , т.е. дисперсии отличаются значимо. Исходя из этого, стандартная ошибка разности $S_{им-нат}$ и число степеней свободы ν с учетом того, что выборки отличаются, при

вычисления t-критерия рассчитываются [7], в отличие от (10) следующим образом

$$S_{им-нат} = \sqrt{\frac{G_{им}^2}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2}{n_{нат}}} = \begin{cases} \sqrt{\frac{G_{им}^2 (ИК + ФП)}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2 (ИК + ФП)}{n_{нат}}} \\ \sqrt{\frac{G_{им}^2 (КСИЗ 1)}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2 (КСИЗ 1)}{n_{нат}}} \end{cases} =$$

$$= \begin{cases} \sqrt{\frac{59,09^2}{100} + \frac{112,68^2}{6}} & \left\{ \begin{array}{l} 10,08 - \text{при работе в ИК с ФП;} \\ 9,89 - \text{при работе в КСИЗ 1;} \end{array} \right. \end{cases}, \quad (17)$$

$$v = \frac{\left(\frac{G_{им}^2}{n_{им}} + \frac{G_{нат}^2}{n_{нат}}\right)^2}{\frac{G_{им}^4}{n_{им}^2 \cdot (n_{им} - 1)} + \frac{G_{нат}^4}{n_{нат}^2 \cdot (n_{нат} - 1)}} =$$

$$= \begin{cases} \frac{\left(\frac{59,09^2}{100} + \frac{112,68^2}{6}\right)^2}{\frac{59,09^4}{100^2 \cdot (100 - 1)} + \frac{112,68^4}{6^2 \cdot (6 - 1)}} = 68,15 \approx 70 - \text{при работе в ИК с ФП;} \\ \frac{\left(\frac{66,2^2}{100} + \frac{113,07^2}{6}\right)^2}{\frac{66,2^4}{100^2 \cdot (100 - 1)} + \frac{113,07^4}{6^2 \cdot (6 - 1)}} = 44,25 \approx 44 - \text{при работе в КСИЗ 1.} \end{cases} \quad (18)$$

В результате

$$t_{набл} = \frac{|\bar{x}_{нат} - \bar{x}_{им}|}{S_{им-нат}} = \begin{cases} \frac{|\bar{t}_{нат} (ИК + ФП) - \bar{t}_{им} (ИК + ФП)|}{S_{им-нат} (ИК + ФП)} \\ \frac{|\bar{t}_{нат} (КСИЗ 1) - \bar{t}_{им} (КСИЗ 1)|}{S_{им-нат} (КСИЗ 1)} \end{cases} =$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} \frac{|538,33 - 556,74|}{10,08} \\ \frac{|549,17 - 583,93|}{9,89} \end{array} \right. = \quad (19)$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 1,82 > t_{\text{табл}}(\alpha = 0,1) = 1,67 - \text{при работе в ИК с ФП}; \\ 3,52 > t_{\text{табл}}(\alpha = 0,05) = 2,02 - \text{при работе в КСИЗ 1,} \end{array} \right.$$

т.е., значение t-критерия $t_{\text{набл}}$ больше критического значения t-критерия $t_{\text{табл}}$ при заданном уровне значимости α и числе степеней свободы ν . Это говорит о том, что на уровне значимости α можно принять гипотезу H_1 . Следовательно, различие математических ожиданий времени локализации чрезвычайной ситуации методом реконденсации, полученных после того, как личный состав спасателей стал готовиться с использованием предложенных нормативов, является значимым.

Выводы. Для статистической оценки нормативов, которые могут использоваться для оценки уровня подготовленности спасателей к работе в КСИЗ, целесообразно использовать параметры нормального распределения времени выполнения рассматриваемой операции (процесса), которые могут быть получены как в результате физического, так и имитационного на ЭВМ эксперимента.

Результаты подготовки спасателей с использованием нормативов с уровне значимости $\alpha=0,05$ свидетельствуют о существенном сокращении времени выполнения как типовых операций, так и конкретных процессов, обеспечивающих проведение аварийно-спасательных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спортивная метрология. Учебник для ин-тов физ. культ. / Под ред. В.М.Зациорского. – М.: ФиС, 1982. – 256 с.
2. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К.: УДПО МВС України, 1995. – 14 с.
3. Методичні рекомендації щодо порядку виконання нормативів радіаційного та хімічного захисту особовим складом органів управління та підрозділів МНС: наказ від 15.10.2008 № 741 МНС України – Офіц. вид. – Київ: МНС України, 2008. – 88 с. – (Нормативний документ МНС України, Методичні рекомендації).
4. Кадачников А.А. Психологическая подготовка к рукопашному бою: моногр./ А.А. Кадачников. – Ростов-на-Дону: Экспериментальный колледж Кубанской государственной академии физической культуры, «Феникс», 2003. – 301 с.

5. Стрелец В.М. Разработка нормативов для оценки подготовленности спасателей к работе в комплексе средств индивидуального типа / В.М. Стрелец, М.В. Васильев, В.В. Тригуб // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2014. – № 19. – С.133-141.

6. Стрелец В.М. Определение количества тренировочных попыток, после которого можно оценивать качество выполнения задания / В.М. Стрелец, М.В. Васильев // Техносферная безопасность. – 2013. – № 1. – С. 61-64.

7. Халафян А.А. STATISTICA 6 Статистический анализ данных / А.А. Халафян. – М.: 000 «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

В.М. Стрелець, М.В. Васильєв, В.В. Тригуб

Оцінка ефективності підготовки рятувальників з використанням нормативів

Перевірено ефективність підготовки рятувальників до ліквідації надзвичайних ситуацій з викидами небезпечних хімічних речовин з використанням нормативів, що спираються на розрахунок зворотних функцій нормального розподілу, отриманих як шляхом натурального, так і імітаційного на ЕОМ експерименту. Показано, що з рівнем значущості $\alpha=0,05$ скорочення часу виконання типових операцій (процесів) є суттєвим.

Ключові слова: норматив, підготовка, рятувальник, час виконання, операція, процес.

V.M. Strelets, M.V. Vasilev, V.V. Trygub

Evaluating the effectiveness of training rescuers using standards

It is verified the effectiveness of rescuers training for emergency situations with emissions of hazardous chemicals using standards that are based on the calculation of the inverse function of the normal distribution, as obtained by the full-scale and simulation on a computer experiment. It is shown that the significance level $\alpha=0,05$ reducing runtime model operations (processes) is important.

Keywords: standard, training, lifeguard, runtime operation, the process.