

УДК 331.101

В.М. Стрелец, М.В. Васильев

Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАБОТЫ СПАСАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ С ВЫБРОСОМ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Показано, что распределения времен проведения типовых операций при работе спасателей в комплексе средств индивидуальной защиты, как правило, характеризуются нормальным законом. Отмечено, что время выполнения типовых операций в зависимости от количества тренировочных попыток меняется по экспоненциальному закону.

Ключевые слова: комплекс средств индивидуальной защиты, распределение времени выполнения, типовые операции.

Введение

Постановка проблемы. Проведение аварийно-спасательных работ в эпицентре чрезвычайных ситуаций (ЧС) с выбросами опасных химических веществ (ОХВ) требует от спасателей работы в комплексе средств индивидуальной защиты (КСИЗ), тип которых зависит от конкретных условий работы, в первую очередь коэффициента токсической опасности места работ [1]. Соответственно, имеют существенные отличия и закономерности работы спасателей в КСИЗ разного типа, которые надо учитывать как при планировании и оценке всего комплекса работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций, так и в процессе подготовки спасателей.

Анализ последних достижений и публикаций показал, что анализ закономерностей работы спасателей опирается на статистические оценки распределения времен выполнения операций и процессов. В частности, в [2] показано, что распределения времен выполнения, как операций, так и процессов оперативно-диспетчерским персоналом имеют нормальное распределение. При этом математическое ожидание времени выполнения типовых операций зависит от условий работы. Работа пожарных, а в наихудшем случае они работают в изолирующих аппаратах [3], рассматривалась в [4, 5], где отмечено, что для описания распределения времени выполнения отдельных операций, а также простых процессов (которые содержат совокупность, не превышающую пяти отдельных операций) целесообразно использовать β -распределение, а для всех более сложных процессов – нормальное. В [6], где рассматриваются особенности проведения аварийно-спасательных работ в метрополитене, показано, что без потери точности вместо β -распределения времени выполнения отдельных операций можно использовать смещенное распределение Эрланга.

Однако при этом особенности выполнения отдельных операций и процессов, связанные с тем, что личный состав вынужден обеспечить свою безопасность для работы в условиях, которые существенно отличаются от условий пожара [1], не рассматривались.

Постановка задачи и ее решение

Исходя из этого, поставлена задача оценки того, как спасатели выполняют типовые операции в процессе ликвидации аварий с выбросом опасных химических веществ.

При выборе типовых операций деятельность человека, в рассматриваемом случае спасателя или группы спасателей, должна рассматриваться, прежде всего, с позиций влияния человеческого фактора на результаты функционирования системы «человек – машина – среда» (рис. 1).



Рис. 1. Процесс ликвидации аварии с выбросом ОХВ как функционирование системы

Исследования такой системы предполагает, что связь указанных компонентов осуществляется в процессах. То есть, компонент "процессы" учитывается, но не в прямой постановке, не как отдельный компонент. В то же время, в рассматриваемом случае именно компонент «процессы» (особенно место его выполнения, рис. 1) определяет требования и к личному составу, и к техническим средствам, а также характеристики внешней среды, которые должны учитываться в ходе анализа системы и разработки соответствующих рекомендаций.

Анализ основных процессов [7] показал, что они могут быть представлены в виде алгоритмов,

которые применительно к конкретному рассматриваемому процессу имеют общую (типовую) структуру. Видно, что все основные задачи и технологические операции, подлежащие выполнению, могут быть разделены на четыре типа подзадач: основные, принятия решения, оборудования и циклические. Исходя из этого, в качестве типовых операций, требующих экспериментальной оценки, были выбраны основные подзадачи.

Анализ особенностей работы вблизи очага ЧС показал, что используемый тип КСИЗ зависит от мощности источника выброса ОХВ [8], т.е. экспериментальные исследования отдельных операций необходимо проводить применительно как к КСИЗ первого типа, в которых спасатели работают в изолирующем костюме и изолирующем дыхательном аппарате, так и к КСИЗ, в которых они работают в фильтрующих аппаратах.

Результаты экспериментальных исследований, в которых принимали участие испытуемые из числа курсантов Национального университета гражданской защиты Украины и Учебного центра оперативно-спасательной службы гражданской защиты МЧС Украины, показали, что имеют место отличия при выполнении типовых операций в КСИЗ разного типа.

Исследования временных характеристик выполнения типовых операций применительно к работе в КСИЗ 1-го типа (рис. 2, 3) показали, что с уровнем значимости $\alpha = 0,05$ они могут описываться нормальным распределением.

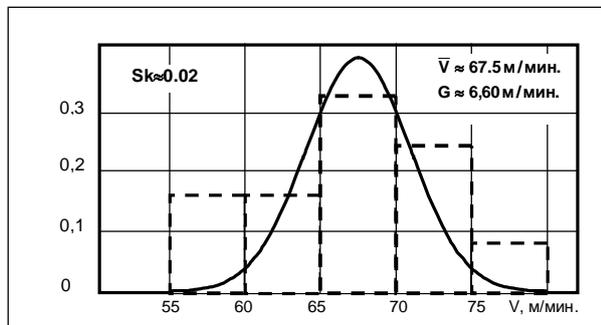


Рис. 2. Распределение скорости движения спасателей в КСИЗ 1 типа (вторая тренировочная попытка)

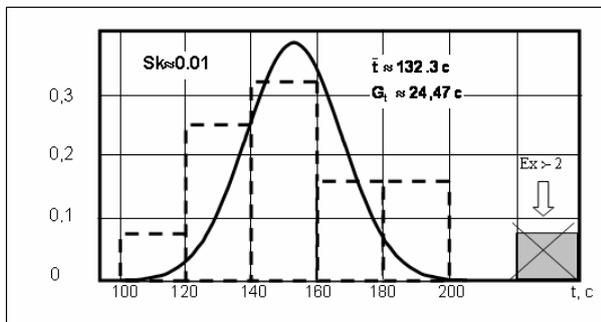


Рис.3. Распределение времени присоединения реконденсирующего рукава к пробое в КСИЗ 1 типа (вторая тренировочная попытка)

Это объясняется тем, что показатель скошенности распределений близок к нулю (распределения являются фактически симметричными, несмотря на то, что первоначальные гистограммы таковыми не казались), а время выполнения операции (скорости движения) является непрерывной случайной величиной.

Необходимо обратить внимание на то, что могут иметь место (рис. 3) случаи, когда появляются результаты, которые могут существенно отличаться в худшую сторону от общего массива. Свидетельством их разнородности является то, что эксцесс общего распределения $E_x \approx 2,3$ больше показателя «двух». Эти результаты, естественно, были исключены при оценке параметров нормального распределения. В то же время, они должны учитываться в случае выработки прогнозных управленческих решений.

При этом характер распределения не меняется по мере совершенствования уровня подготовленности спасателей (например, рис. 4).

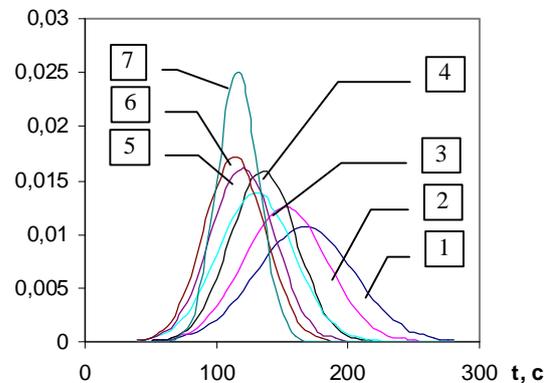


Рис. 4. Распределения времен присоединения реконденсирующего рукава к пробое в КСИЗ 1-го типа по тренировочным попыткам

Аналогичная ситуация имеет место и при выполнении спасателями большинства типовых операций в КСИЗ с фильтрующим противогазом (ФП). Исключение составляет выполнение непродолжительных (порядка десяти и менее секунд) простых операций после первоначального обучения (2 попытка) и при достижении устойчивых навыков (в рассмотренных случаях после пятой попытки). В этом случае временные характеристики с 10-процентным уровнем значимости целесообразно описывать с помощью β -распределения (рис. 5):

$$F(t) = \begin{cases} \frac{(t-4)^{\alpha-1} \cdot (17.5-t)^{\beta-1}}{13.5^{\alpha+\beta+1} \cdot B(\alpha, \beta)} & \text{при } 4c \leq t < 17.5c; \\ 0 & \text{при } t < 4c, t \geq 17.5c, \end{cases} \quad (1)$$

где $B(\alpha, \beta)$ – β -функция Эйлера;

$$\alpha = \begin{cases} 2.24 & \text{- соответствует распределению времени выполнения во 2-ой попытке;} \\ 1.87 & \text{- в 5-ой попытке;} \\ 1.60 & \text{- в 6-ой попытке;} \\ 1.36 & \text{- в 7-ой попытке;} \end{cases}$$

$\beta = \begin{cases} 2.72 & \text{- соответствует распределению времени} \\ & \text{выполнения во 2-ой попытке;} \\ 5,25 & \text{- в 5-ой попытке;} \\ 1,21 & \text{- в 6-ой попытке;} \\ 4,63 & \text{- в 7-ой попытке.} \end{cases}$

При этом отмечено, что скошенность распределения во второй попытке была отрицательной, а начиная с пятой – положительной.

Распределения результатов в первой, третьей и четвертой попытках фактически были симметричными.

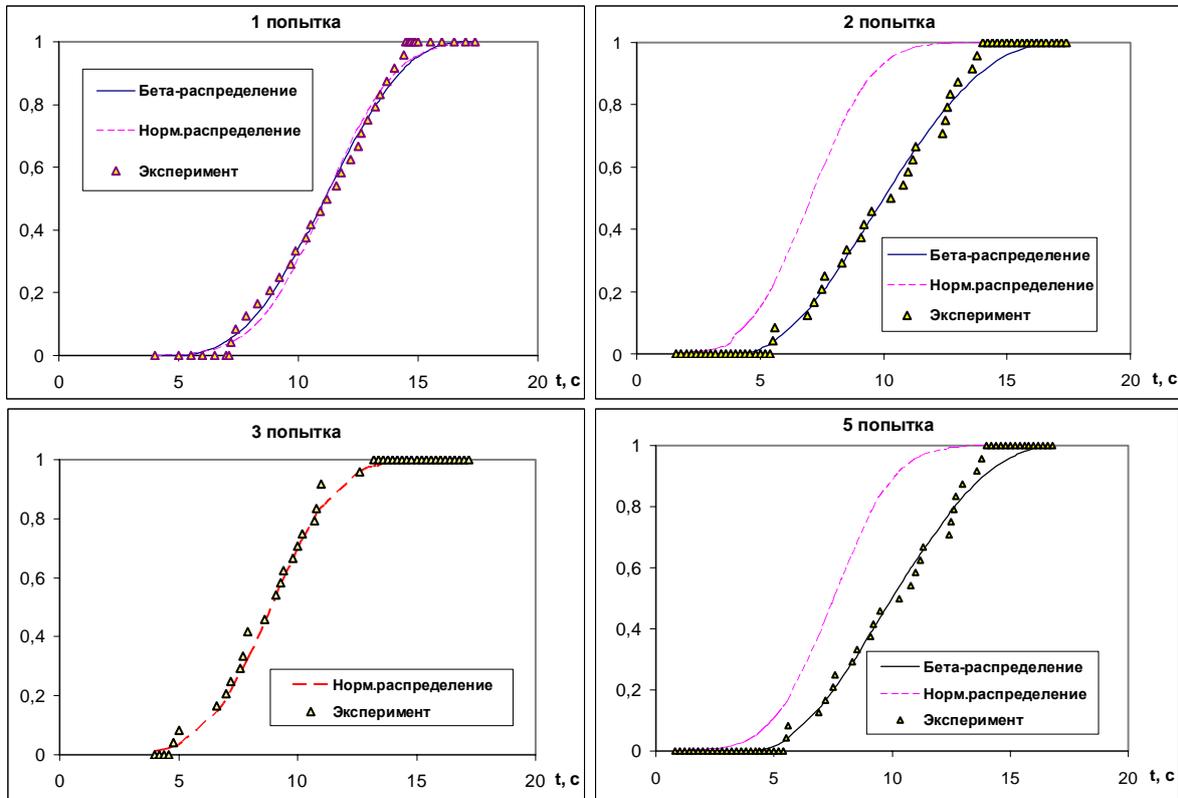


Рис. 5. Интегральная функция распределения времени переноски рекондендирующего рукава в защитном костюме с фильтрующим противогазом

Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что с уровнем значимости $\alpha = 0,1$ время выполнения j -ой типовой операции в ходе тренировок уменьшается по экспоненциальному закону независимо от того, был ли это КСИЗ 1 типа или изолирующий костюм (ИК) вместе с фильтрующим противогазом (ФП),

$$t_{(j)} \approx \bar{t}_{(j)гран} + (\bar{t}_{(j)1} - \bar{t}_{(j)гран}) \cdot e^{-\bar{\lambda}_{(j)}(n-1)}, \quad (2)$$

где $\bar{t}_{(j)гран}$ – оценка математического ожидания, к которому приближается время выполнения j -ой типовой операции, с; $\bar{t}_{(j)1}$ – математическое ожидание времени выполнения j -ой типовой операции в первой попытке, с; $\bar{\lambda}_{(j)}$ – оценка параметра экспоненциального распределения.

Аналогичная ситуация имеет место в ходе обучения всем практическим операциям. В частности, особый интерес представляет робинг (одевание изолирующего костюма с включением в средство индивидуальной защиты органов дыхания) комплекса средств индивидуальной защиты.

На рис. 6 приведены экспериментальные результаты робинга КСИЗ 1 типа (кружки) и изолирующего костюма вместе с фильтрующим противогазом (ромбики), а также соответствующие аппроксимирующие зависимости (сплошная линия соответствует робингу КСИЗ 1 типа, штриховая – робингу изолирующего костюма вместе с фильтрующим противогазом).

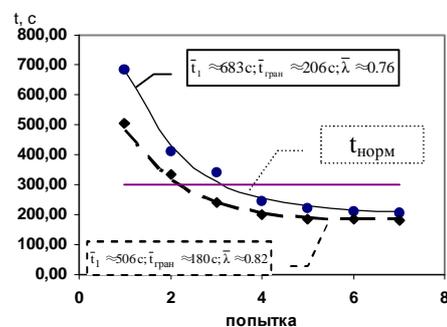


Рис. 6. Робинг комплекса средств индивидуальной защиты

Полученные экспериментальные результаты показали, что учитывая требования нормативных

документов [9] о том, что время одевания изолирующего костюма не должно превышать некоторого конкретного значения $t_{\text{норм}}$, можно определить то количество тренировочных попыток, после которого целесообразно оценивать качество выполнения этой операции личным составом

$$n = \text{integer} \left(1 + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{\bar{t}_1 - \bar{t}_{\text{гран}}}{t_{\text{норм}} - \bar{t}_1} + 0.5 \right) = \begin{cases} 4 - \text{при робинге КСИЗ первого типа;} \\ 3 - \text{при робинге ИК с ФП;} \end{cases} \quad (3)$$

т.е. при робинге КСИЗ 1 типа оценивать спасателей можно после 4-х тренировочных попыток, а при робинге изолирующего костюма в комплекте с фильтрующим противогазом – трех.

Выводы

- для описания распределения времени выполнения спасателями простых операций, требующих работы в КСИЗ первого типа, целесообразно использовать нормальный закон. Аналогичная ситуация имеет место и при выполнении спасателями большинства типовых операций в КСИЗ с фильтрующим противогазом;

- выполнение непродолжительных (порядка десяти и менее секунд) простых операций в КСИЗ с фильтрующим противогазом после первоначального обучения и при достижении устойчивых навыков с 10-процентным уровнем значимости целесообразно описывать с помощью β -распределения;

- время выполнения типовых операций спасателями при работе в КСИЗ с фильтрующим противогазом на 10-25% меньше времени их выполнения в КСИЗ первого типа;

- среди результатов, связанных с работой в КСИЗ первого типа, могут быть такие, которые существенно отличаются от остальных. Они должны учитываться в процессе планирования работ и прогнозирования результатов их выполнения; полученные после исключения «выбросов» параметры распределений целесообразно использовать для обоснования нормативов;

- время выполнения типовых операций спасателями в ходе тренировок уменьшается по экспоненциальному закону.

Список литературы

1. ГОСТ Р 22.9.05-95. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования. – Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 20 июня 1995 г. №309]. – М.: Госстандарт, 1995. – 9 с. – (Госстандарт РФ).

2. Фокин Ю.Г. Оператор – технические средства: обеспечение надежности / Ю.Г. Фокин. – М.: Воениздат, 1985. – 292 с.

3. Настанова з газодимозахисної служби пожежної охорони МВС України: Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. – Офіц. вид. – К.: ГУПО МВС України, 1994. – 128 с. – (Нормативний документ Міністерства внутрішніх справ України, Настанова).

4. Ковалев П.А. Особенности представления исходных данных при имитационном моделировании деятельности личного состава пожарной охраны / П.А. Ковалев, В.М. Стрелец // Проблемы пожарной безопасности: сб. научн. тр. – Х., 1997. – С. 50-53.

5. Чучковский В.Н. Разработка методов обоснования штатной численности боевых расчетов пожарных автомобилей: дисс. ... канд. техн. наук / В.Н. Чучковский; – Х.: ХИПБ, 1998. – 155 с.

6. Бородич П.Ю. Анализ типовых операций, обеспечивающих функционирование эргатической системы «спасатель – чрезвычайная ситуация в метрополитене – средства ее ликвидации и защиты» / П.Ю. Бородич, В.М. Стрелец // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 2/4 (32). – С. 33-35.

7. Аветисян В.Г. Рятувальні роботи під час ліквідації надзвичайних ситуацій: навч. посібн. ч.1, [для студ. вищ. навч. закл.] / В.Г. Аветисян, Ю.О. Куліш. – Х.: УЦЗУ, 2006. – 216 с.

8. Басманов А.Е. Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества / А.Е. Басманов, М.В. Васильев, С.С. Говаленков / Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х., 2011. – № 13. – С. 21-35.

9. НПБ 162-97. Специальная защитная одежда пожарных изолирующего типа. Общие технические требования. Методы испытаний. – Принят и введен в действие приказом ГУ ГПС МВД России от 25.12.1999 №101. – М.: МВД РФ, 1999. – 47 с.

Поступила в редколлегию 7.06.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Е. Басманов, Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков.

АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОБОТИ РЯТУВАЛЬНИКІВ В ПРОЦЕСІ ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ З ВИКИДОМ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

В.М. Стрелець, М.В. Васильєв

Показано, що розподіл часів проведення типових операцій при роботі рятувальників в комплексі засобів індивідуального захисту, як правило, характеризуються нормальним законом. Відзначено, що час виконання типових операцій залежно від кількості тренувальних спроб змінюється за експоненціальним законом.

Ключові слова: комплекс засобів індивідуального захисту, розподіл часу виконання, типові операції.

ANALYSIS OF PATTERNS OF RESCUERS DURING THE EMERGENCY RESPONSE WITH THE RELEASE OF HAZARDOUS CHEMICALS

V.M. Strelec, M.V. Vasilyev

Shown that the time distribution of the standard operations for rescue work in the complex of PPE is usually characterized by normal law. Noted that the execution time of typical operations, depending on the number of training attempts to change exponentially.

Keywords: complex of facilities of individual defence, distributing of time of implementation, operations of models.