

УДК 331.101

*Васильев М.В., адъюнкт, НУГЗУ,  
Стрелец В.М., канд. техн. наук, нач. лаб., НУГЗУ,  
Тригуб В.В., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАБОТЫ СПАСАТЕЛЕЙ В СРЕДСТВАХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ТИПА**

(представлено д-ром техн. наук Соловьев В.В.)

Показано, что распределения времен проведения типовых операций при работе спасателей в комплексе средств индивидуальной защиты первого типа характеризуются нормальным законом, тогда как второго –  $\beta$ -распределением. Отмечено, что время облачения в изолирующий костюм в зависимости от количества тренировочных попыток меняется по экспоненциальному закону.

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

**Постановка проблемы.** Проведение аварийно-спасательных работ в эпицентре чрезвычайных ситуаций с выбросами опасных химических веществ требует того, чтобы спасатели первой категории, входящие в состав специальных подразделений, использовали комплекс средств индивидуальной защиты (КСИЗ) первого типа [1]. При этом КСИЗ 1-го типа существенно [2] отличается от КСИЗ второго типа, в котором работает личный состав пожарно-спасательных подразделений в качестве газодымозащитников [3]. Вследствие этого закономерности выполнения работ в КСИЗ 1-го типа имеют ряд особенностей, которые надо учитывать как при планировании и оценке всего комплекса работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций, так и в процессе подготовки спасателей, например, для обоснования соответствующих нормативов оценки качества выполнения отдельных операций и процессов.

**Анализ последних исследований и публикаций** показал, что к настоящему времени разработан научно-методический аппарат имитационного моделирования экстремальной деятельности [4,5] и обоснования нормативов [6,7] для оценки уровня подготовленности спасателей при выполнении, как операций, так и процессов, которые составляют общий комплекс аварийно-

спасательных работ. Он опирается на оценки распределения времен выполнения операций и процессов.

В частности, в [7,8] показано, что распределения времен выполнения, как операций, так и процессов оперативно-диспетчерским персоналом имеют нормальное распределение. Работа пожарных, а в наихудшем случае они работают в КСИЗ 2-го типа [3], рассматривалась в [6,8], где отмечено, что для описания распределения времени выполнения отдельных операций, а также простых процессов (которые содержат совокупность, не превышающую пяти отдельных операций) целесообразно использовать  $\beta$ -распределение, а для всех более сложных процессов – нормальное. В [9], где рассматриваются особенности проведения аварийно-спасательных работ в метрополитене, показано, что без потери точности вместо  $\beta$ -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 наихудших условий пожара [2] (выполнение эмоционально насыщенных работ в изолирующих костюмах, которые достаточно сильно сковывают движение спасателей; использование изолирующих средств индивидуальной защиты органов дыхания с повышенными герметичными свойствами; более низкая подготовленность спасателей по сравнению с газодымозащитниками, связанная с тем, что рассматриваемые ситуации возникают значительно реже пожаров...), не рассматривались.

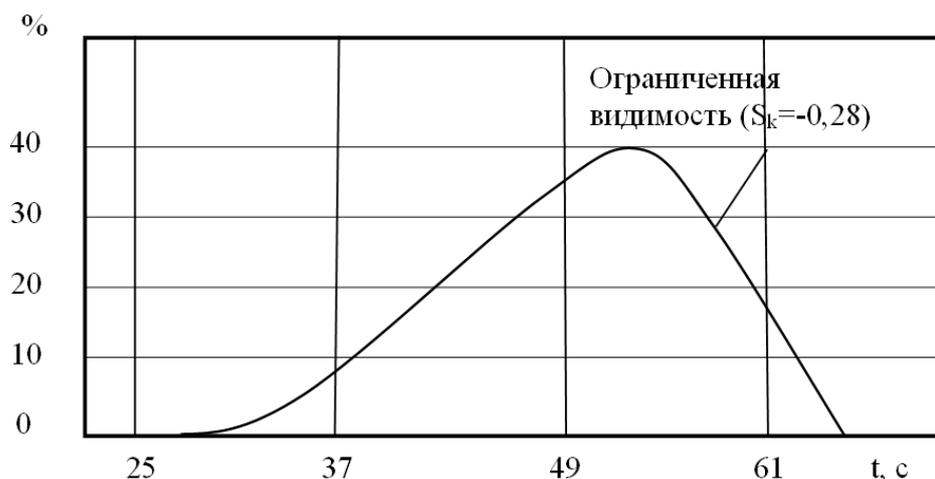
**Постановка задачи и ее решение.** Исходя из этого, поставлена задача сравнительной оценки того, как отличаются распределения времен выполнения типовых операций и процессов, используемых спасателями в КСИЗ первого типа при проведении работ вблизи от очага чрезвычайной ситуации с выбросом опасных химических веществ, от тех, которые имеют место в случае работы личного состава газодымозащитной службы (работают в КСИЗ второго типа).

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 существенные отличия.

Так, закономерности выполнения типовых операций газоды-мозащитниками описываются с помощью  $\beta$ -распределения. Например, распределение времени присоединения рукава к пожарному крану в условиях ограниченной видимости (см.рис.1) имеет вид

$$\begin{aligned} \beta(x, \alpha, \beta) &= \frac{1}{B(\alpha; \beta)} \int_0^x x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dy = \\ &= \frac{1}{B(2.89; 2.01)} \int_0^x x^{4.89} (1-x)^{1.01} dy. \end{aligned} \quad (1)$$

Параметры распределения (1)  $\alpha=2.89$  и  $\beta=2.01$  в рамках статистической погрешности с уровнем значимости 0,05 можно считать равными тем, которые приведены в [9].



**Рис. 1 – Распределение времени присоединения рукава к пожарному крану**

Аналогичная ситуация имеет место и в случае, когда рассматривается скорость движения газодымозащитников [9]. Например, на рис.2 приведены распределения скорости движения газодымозащитников при проведении аварийно-спасательных работ в метрополитене.

В то же время, исследования временных характеристик выполнения типовых операций применительно к работе в КСИЗ 1-го типа (см. рис.3, 4) показали, что с уровнем значимости  $\alpha=0,05$  они могут описываться нормальным распределением. 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.

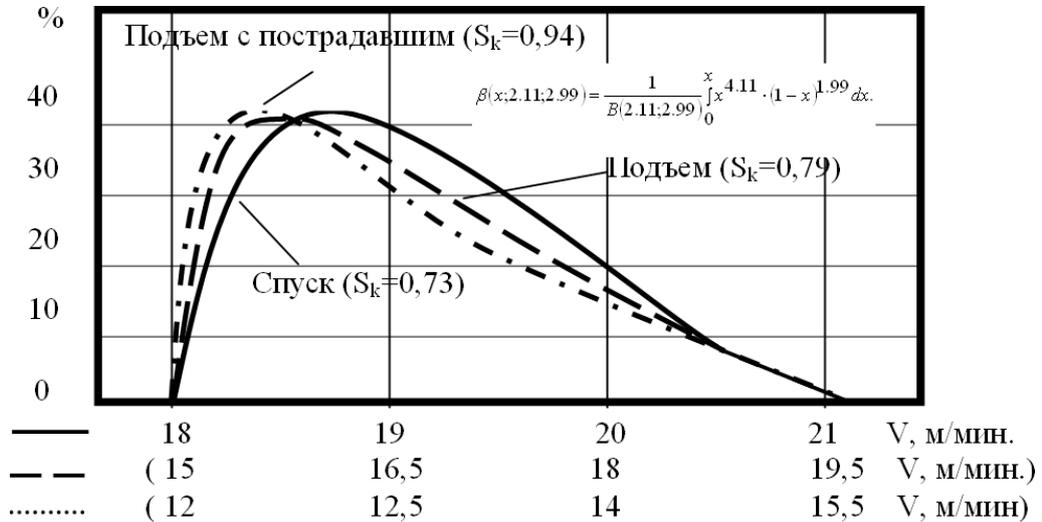


Рис. 2 – Распределение скорости движения газодымозащитников в метрополитене

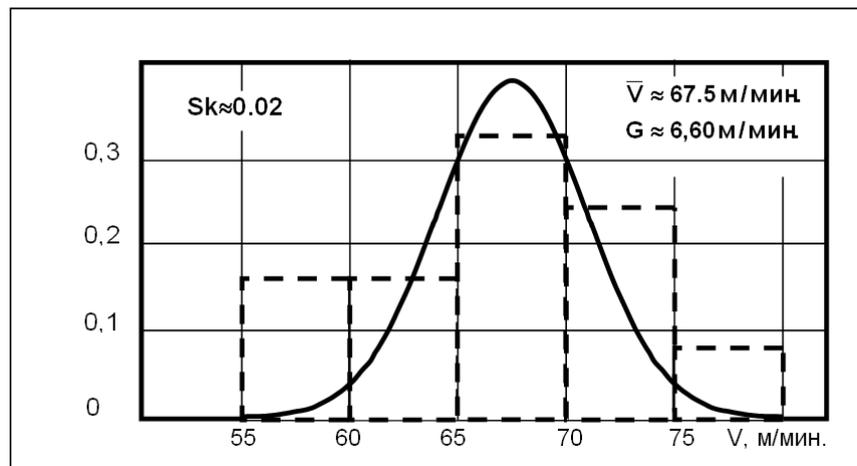
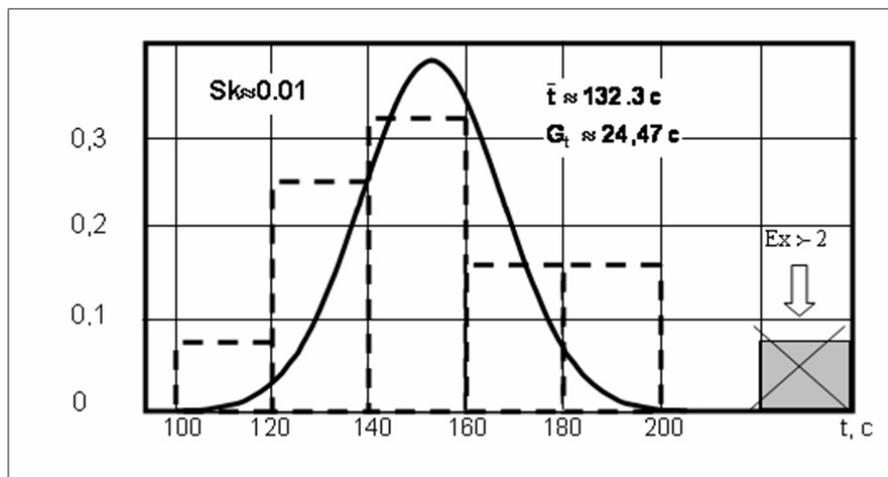


Рис. 3 – Распределение скорости движения спасателей в КСИЗ 1 типа

При этом необходимо обратить внимание на то, что могут иметь место (см. рис. 4) случаи, когда появляются результаты, которые могут существенно отличаться в худшую сторону от общего массива. Свидетельством их разнородности является то, что эксцесс общего распределения  $Ex \approx 2,3$  больше показателя «двух». Эти

Сравнительный анализ закономерностей работы спасателей в средствах индивидуальной защиты первого и второго типа

результаты, естественно, должны быть исключены при оценке параметров нормального распределения. В то же время, они должны учитываться в случае выработки прогнозных управленческих решений.



**Рис. 4 – Распределение времени присоединения рукава к пробоине**

Переход к нормальному распределению в последующем существенно упростит проведение имитационного моделирования процессов ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Особый интерес представил робинг (одевание изолирующего костюма с включением в средство индивидуальной защиты органов дыхания) комплекса средств индивидуальной защиты. Полученные экспериментальные результаты показали (см. рис. 5), что в ходе тренировок время облачения в изолирующий костюм в зависимости от количества  $n$  тренировочных попыток меняется по экспоненциальному закону независимо от того, был ли это КСИЗ 1 типа или изолирующий костюм (ИК) вместе с фильтрующим противогазом (ФП)

$$t = \bar{t}_{\text{гран}} + (\bar{t}_1 - \bar{t}_{\text{гран}}) \cdot e^{-\lambda(n-1)}, \quad (2)$$

где оценка математического ожидания, к которому приближается время робинга КСИЗ,

$$\bar{t}_{\text{сп}} = \begin{cases} 212 \text{ с} & \text{— при использовании КСИЗ первого типа;} \\ 181 \text{ с} & \text{— при использовании ИК с ФП;} \end{cases}$$

математическое ожидание времени робинга КСИЗ в первой попытке

$$\bar{t}_1 = \begin{cases} 657 \text{ с} & \text{— при использовании КСИЗ первого типа;} \\ 545 \text{ с} & \text{— при использовании ИК с ФП;} \end{cases}$$

параметр экспоненциального распределения

$$\bar{\lambda} = \begin{cases} 0,76 & \text{— при использовании КСИЗ первого типа;} \\ 0,85 & \text{— при использовании ИК с ФП.} \end{cases}$$

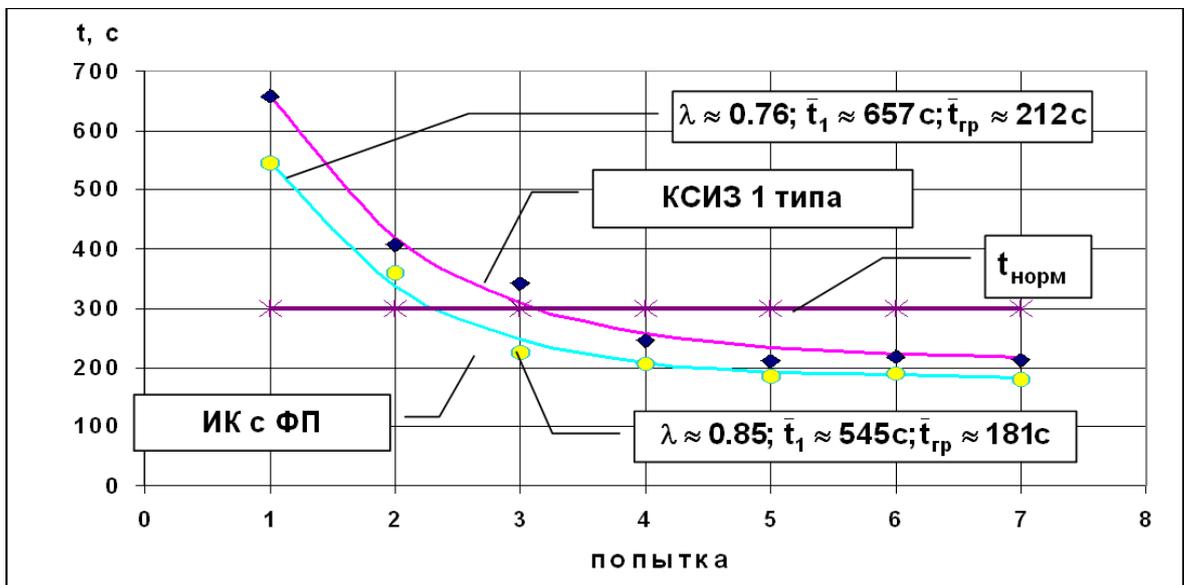


Рис. 5 – Робинг комплекса средств индивидуальной защиты

Это позволяет, учитывая требования нормативных документов [10] о том, что время одевания изолирующего костюма не должно превышать некоторого конкретного значения  $t_{норм}$ , определить то количество тренировочных попыток, после которого можно оценивать качество выполнения этой операции личным составом

$$n = \text{integer} \left( 1 + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{\bar{t}_1 - \bar{t}_{gp}}{t_{норм} - \bar{t}_{gp}} + 0,5 \right) = \begin{cases} 4 & \text{— при робинге КСИЗ первого типа;} \\ 3 & \text{— при робинге ИК с ФП;} \end{cases} \quad (3)$$

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:**

- несмотря на то, что распределения времен выполнения газодымозащитниками типовых операций, связанных с использованием пожарной техники, достаточно хорошо описывается  $\beta$ -распределением, для описания распределения времени выполнения спасателями простых операций, требующих работы в КСИЗ первого типа, целесообразно использовать нормальный закон;

- 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.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования: ГОСТ Р 22.9.05-95. – [Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 20 июня 1995 г. №309]. – М.: Госстандарт, 1995. – 9 с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).
2. Стрілець В.М. Аналіз захисних властивостей засобів індивідуального захисту, які призначені для роботи в умовах викиду небезпечних хімічних речовин / В.М. Стрілець, М.В. Васильєв // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2010. – Вип. 1(23). – С.197-200.
3. Настанова по газодимозахисній службі пожежної охорони МВС України: Наказ № 657 МВС України від 2 грудня 1994 р. – Київ, 1994. – 128 с. – (Нормативний документ МНС України. Настанова)
4. Стрелец В.М. Имитационный анализ системы «человек-машина» как метод эргономической оценки функционирования аварийных служб / В.М. Стрілець // Радиоэлектроника и информатика: Научно-технический журнал. – 2001. – № 3(16) – Харьков, ХНУРЭ, 2001. – С.125-128.
5. Фокин Ю.Г. Оператор – технические средства: обеспечение надежности / Фокин Ю.Г. – М.: Воениздат, 1985. – 292 с.

6. Стрелец В.М. Статистический метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения./ В.М. Стрелец, Т.Б. Грицай // Право і безпека: Науковий журнал. – 2002. – Вип.1 – С. 165-171.
7. Ковалев П.А. Особенности обоснования комплексных нормативов для практических занятий / П.А. Ковалев, Р.А. Нередков, В.М. Стрелец // Проблемы надзвичайних ситуацій. – № 5. – Харків, Фоліо, 2006 – С. 129-133
8. Чуковский В.Н. Разработка методов обоснования штатной численности боевых расчетов пожарных автомобилей: дис. ... кандидата техн. наук: 21.06.02 / Чуковский Вячеслав Николаевич – Харьков, 1998. – 155 с.
9. Иванов В.Г. Особенности представления исходных данных для моделирования пожаротушения на станциях метрополитена с помощью аппарата Е-сетей / В.Г. Иванов, В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич // Проблемы пожарной безопасности. – № 14. – Харьков, АПБУ, 2003. – С. 177-182.
10. Специальная защитная одежда пожарных изолирующего типа. Общие технические требования. Методы испытаний: НПБ 162-97 – [Принят и введен в действие приказом ГУ ГПС МВД России от 25.12.1999 №101]. – М., МВД РФ, 1999. – 47 с.

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

**Порівняльний аналіз закономірностей роботи рятувальників в засобах індивідуального захисту першого та другого типу**

Показано, що розподіли часів проведення типових операцій при роботі рятувальників в комплексі засобів індивідуального захисту першого типу характеризуються нормальним законом, тоді як другого -  $\beta$ -розподілом. Відзначено, що час одягання в ізолюючий костюм в залежності від кількості тренувальних спроб змінюється за експоненціальним законом.

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

Strelec V.M., Trigub V.V., Vasil`ev M.V.

**Comparative analysis of patterns of rescuers in custom-tailored means of protecting the first and second type**

Shown that the time distribution of the standard operations for rescue work in the complex PPE of the first type are characterized by the normal law, while the second - by  $\beta$ -distribution. Noted that while putting on an insulating suit depending on the number of training attempts to change exponentially.

**Key words:** complex PPE, the distribution of run-time, types of operations