

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

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ВЫБРОСОМ ОПАСНОГО ХИМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

(представлено д-ром техн. наук Прохачем Э.Е.)

Показано, что имитационное моделирование основных подзадач процесса ликвидации ЧС с выбросом опасного химического вещества целесообразно выполнять путем вычисления обратной функции нормального распределения времени их выполнения. Подзадачи выбора решения, оборудования и циклические моделируются стандартными программными средствами.

Ключевые слова: моделирование, типовые операции, комплексы средств индивидуальной защиты, распределение времени выполнения

Постановка проблемы. Несмотря на невысокую частоту возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) с выбросами опасных химических веществ (ОХВ), возникнув, они могут иметь катастрофические последствия [1]. При этом существующие средства индивидуальной защиты, в которых работают спасатели, создавались применительно к наихудшим условиям пожара [2]. В то же время, наихудшие условия, которые могут возникнуть при выбросе ОХВ, существенно (на порядки) отличаются в худшую сторону.

Повышенная техногенная опасность и возможность поражения большого количества людей требуют того, чтобы время проведения аварийно-спасательных работ было сокращено. Это можно сделать, умея прогнозировать эффективность проводимых мероприятий в подразделении. С другой стороны, в настоящее время отсутствуют комплексные показатели, которые бы характеризовали деятельность спасателей.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что ЧС с выбросом ОХВ рассматривались с разных сторон: в частности, с позиций развития ЧС эти вопросы рассматривались проф. Басмановым А.Е. [3], с позиции организации работ по лик-

ликвидации ЧС проф. Владимировым А.В. [4], общей теории профилактики ЧС проф. Брушлинским Н.Н. [5]. Однако совершенствование процессов ликвидации ЧС с выбросом опасных химических веществ необходимо рассматривать и с позиций обеспечения качества функционирования системы «спасатель – средства защиты и ликвидации аварии – среда». При этом в [6] отмечено, что деятельность спасателей должна рассматриваться, прежде всего, с позиций влияния человеческого фактора на результаты системы.

Комплексный характер, непосредственно связанный с деятельностью спасателей, носят оценки, полученные в результате тактико-специальных учений [6], однако существующая практика показала [7], что они проводятся при значительном упрощении обстановки и дают достоверные данные только по отдельным видам боевой работы. Не позволяют оценить влияние результатов деятельности спасателей на эффективность проведения аварийно-спасательных работ и существующие методы математического моделирования [8]. Прежде всего, это вызвано невозможностью полностью формализовать описание аварийно-спасательных работ из-за свободы действий спасателей в рамках выполнения поставленных перед ними частных задач, непостоянства структуры комплекса работ в каждом конкретном случае, многокритериальности рассматриваемого процесса и нечеткого задания самих критериев, воздействия большого числа случайных факторов. На практике часто используют метод экспертных оценок [9], но, как правило, результатом становится мнение руководителя.

По аналогии с [10,11] можно предположить, что наиболее полные данные о временных характеристиках функционирования рассматриваемой системы можно получить с помощью имитационного моделирования на ЭВМ. В то же время, конкретные имитационные модели [10,11,12], описывающие работу спасателей, опирались как на взаимосвязь выполняемых ими операций, так и на конкретные показатели, которые отражают закономерности выполнения типовых операций.

Постановка задачи и ее решение. Исходя из этого, поставлена задача оценки того, как должны быть представлены исходные данные для осуществления имитационного моделирования процесса ликвидации ЧС с выбросом ОХВ.

Поскольку в рассматриваемом случае оценивается, прежде всего, то, как влияет деятельность спасателя или группы спасателей на результаты функционирования системы «человек – маши-

на – среда» (см. рис.1), исследование 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, для ЧС с выбросом именно компонент «процессы» (особенно место его выполнения, см. 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.

Были проанализированы основные процессы, которые выполняются в ходе работ по ликвидации ЧС с выбросом ОХВ. Отмечено, что они могут быть представлены в виде алгоритмов (в качестве примера на рис.2 приведен алгоритм локализации зоны заражения методом реконденсации), которые применительно к конкретному рассматриваемому процессу имеют общую (типовую) структуру.

Анализ алгоритмов боевой работы спасателей показывает, что все основные задачи и технологические операции, подлежащие выполнению, могут быть разделены на четыре типа подзадач: основные, принятия решения, оборудования и циклические.

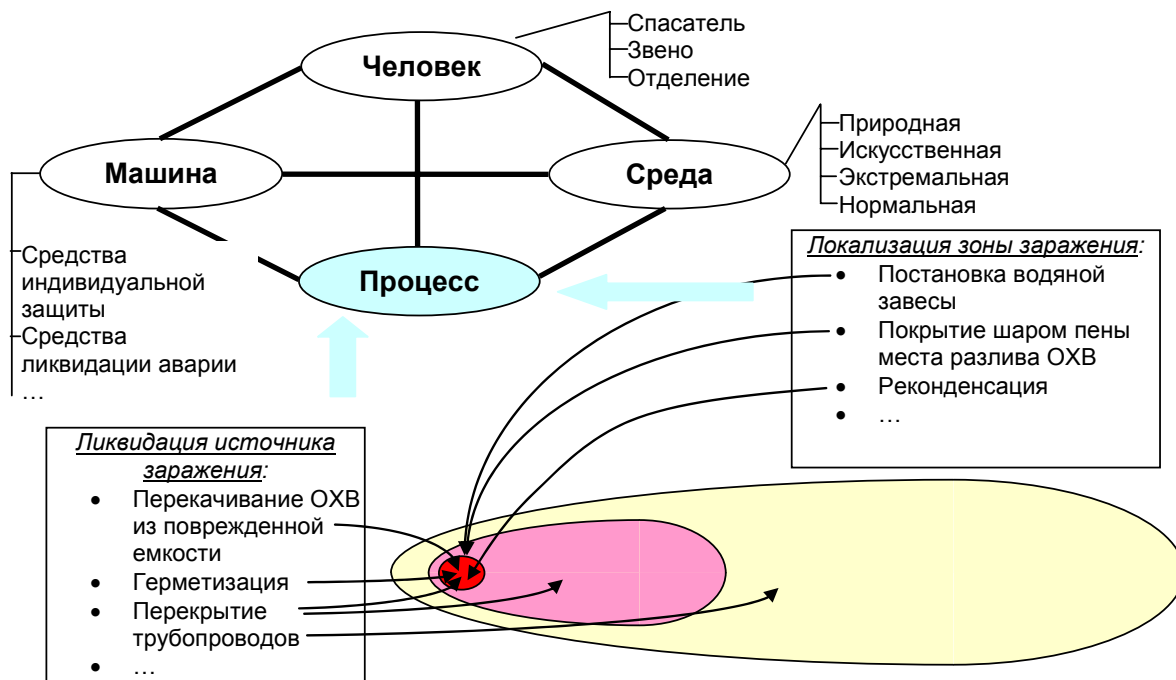


Рис. 1 – Процесс ликвидации аварии с выбросом ОХВ как функционирование системы «человек – машина – среда – процессы»

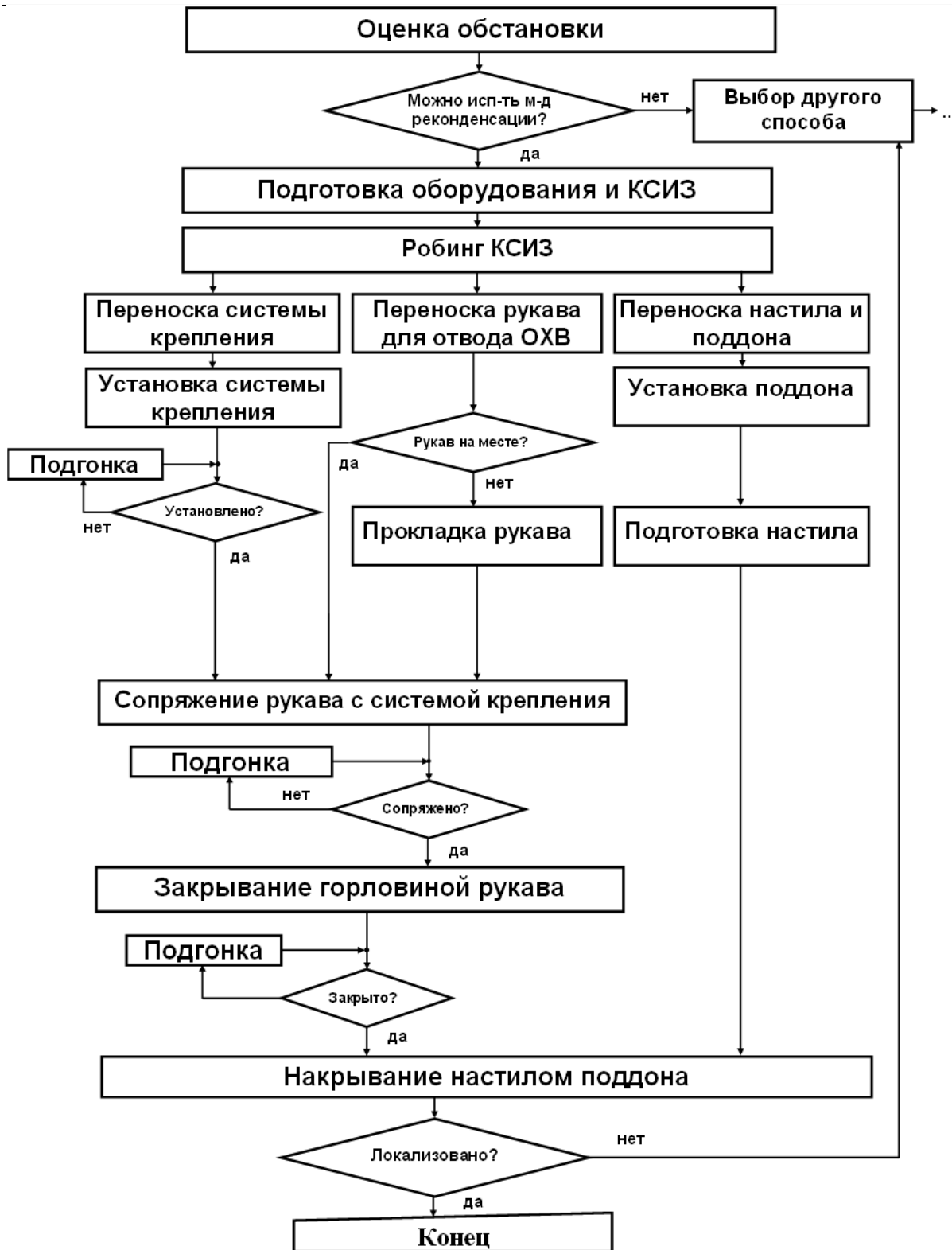


Рис. 2 – Алгоритм локализации зоны заражения методом реконденсации

К основным подзадачам относятся, например, подготовка оборудования и комплекса средств индивидуальной защиты

(КСИЗ), переноска системи кріплення і рукавов, закривання горловини рукавом і т.д.; к підзадачам прийняття рішення – оцінка того, можна ли використати розглядаваний метод, или того, виконан ли процес в цілому. К підзадачам обладнання (учитуються відмови техніки і затримки при роботі з обладнанням), наприклад, - усунення несправності в засобах індивідуальної захисти или заміна их резервними. К циклічним підзадачам, наприклад, - однотипні, но багаторазово повторювані способи сопряження обладнання, его підгонки і т.д. Підзадачі очікування передбачають урахування того, що к виконанню деяких операцій неможливо приступити, поки не виконані передшествовавшие им.

Імітація виконання основних підзадач фактично зводиться к формуванню на ЕВМ можливих значень випадкової величини t_i з заданим законом розподілення. Это не представляє особлих складностей, если известна щільність розподілення $f(t)$ випадкової величини t , поскольку исходным “материалом” для побудови будь-яких випадкових об’єктів в ЕВМ служать так називані випадкові числа, вироблювані спеціальною програмою - датчиком випадкових чисел. Випадкове число можна розглядати як можливе значення z_i , которое приближенно підчиняється рівномірному закону розподілення в інтервалі $[0,1]$

$$F(z) = \begin{cases} 0 & \text{для } z \leq 0; \\ z & \text{для } 0 < z < 1; \\ 1 & \text{для } z \geq 1. \end{cases} \quad (1)$$

В то же время, известна теорема [14], согласно которой, если случайная величина t имеет плотность распределения $f(z)$, то распределение случайной величины

$$z = \int_0^t f(t)dt \quad (2)$$

является равномерным в интервале $[0,1]$. Из этого следует, что для преобразования последовательности случайных чисел с равномерным законом распределения в интервале $[0,1]$ в последова-

тельность случайных чисел с функцией распределения $F(t)$ необходимо из совокупности случайных чисел с равномерным законом распределения в $[0,1]$ (используются стандартные подпрограммы генерации псевдослучайных чисел) выбрать случайное число z_i и разрешить уравнение

$$F(t_i) = z_i \quad (3)$$

относительно t_i или, если вместо функции распределения задана плотность вероятности $f(t)$,

$$\int_0^{t_i} f(t) dt = z_i. \quad (4)$$

Решение представленного выше уравнения равносильно разрешению уравнения

$$z_i = F(t_i), \quad (5)$$

где $F(t_i)$ – функция распределения вероятностей.

Уравнение (5) разрешается относительно t_i с любой степенью точности методом итерационного приближения, однако более эффективным является его решение через обратную функцию распределения F^{-1}

$$t_i = F^{-1}(F(t_i)) = F^{-1}(z_i). \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что имитационное моделирование на ЭВМ рассматриваемых операций целесообразно осуществлять с помощью стандартных подпрограмм вычисления обратных функции распределения времен их выполнения.

Имитация подзадач принятия решения осуществляется тогда, когда в зависимости от условий нужно выполнить либо одно, либо другое действие. Для имитации выполнения таких подзадач целесообразно использовать метод представления знаний, основанный на правилах импликаций, содержащих утверждение типа:

$$\text{Если (условие, предпосылки)} \quad \text{То (действие, заключение)}. \quad (7)$$

Такие утверждения не представляет трудности реализовать с помощью логических условных операторов

$$IF(L)S, \quad (8)$$

где L - логическое выражение, S - любой исполняемый оператор (включая как оператор цикла, так и логический условный оператор).

Циклические подзадачи используются в случае необходимости многократного повторения одних и тех же действий для достижения необходимого условия. В программе циклические подзадачи могут быть представлены структурами типа “Цикл До” или “Цикл Пока”.

Оператор цикла записывается в виде

$$DO MI = N1, N2, \quad (9)$$

где M - метка; I - простая переменная целого типа - параметр или управляющая переменная цикла; $N1$ - нижняя граница параметра цикла; $N2$ - верхняя граница параметра.

Имитацию подзадач оборудования можно осуществить с помощью показателей безотказности работы оборудования. Основными из них являются вероятность безотказной работы $P(t)$, средняя наработка на отказ t_{cp} и интенсивность отказов $\lambda(t)$, приведенные в эксплуатационно-технической документации.

Анализ вышеизложенного показывает, что имитационная оценка не может быть осуществлена без предварительного определения параметров распределения временных характеристик выполнения основных подзадач, выполняемых соответствующими номерами боевого расчета, а также вероятностных характеристик выбора того или иного условия. 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 [14], т.е. экспериментальные исследования отдельных операций необходимо проводить применительно как к КСИЗ, в которых спасатели работают в изолирующем костюме и изолирующем ды-

хательном аппарате, так и к КСИЗ, в которых они работают в фильтрующих противогазах (ФП).

Результаты экспериментальных исследований показали, что с уровнем значимости $\alpha=0,05$ временные характеристики выполнения типовых операций могут описываться нормальным распределением. При этом характер распределения не меняется по мере совершенствования уровня подготовленности спасателей (смотри, например, рис.3).

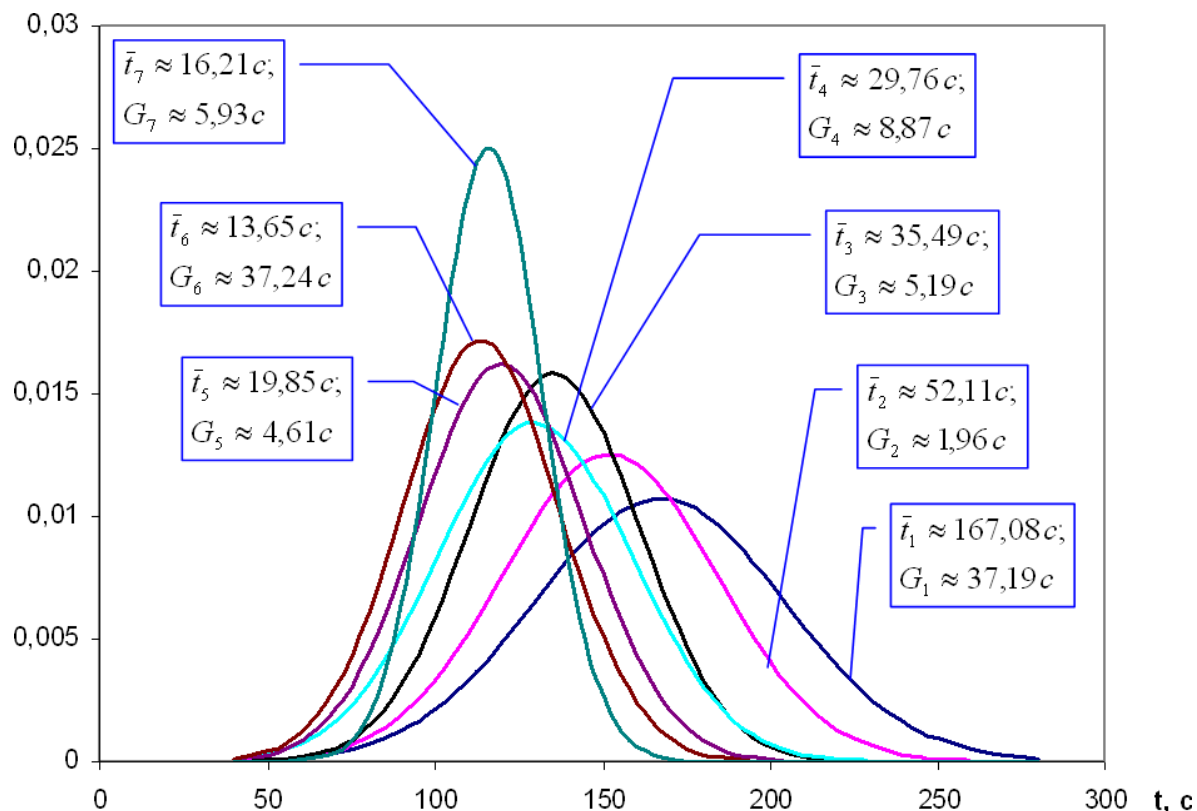


Рис. 3 – Распределения времен присоединения рукава к пробоине в КСИЗ 1-го типа по тренировочным попыткам

Аналогичная ситуация имеет место и при выполнении спасателями большинства типовых операций в КСИЗ с ФП. Исключение составляет выполнение непродолжительных (порядка десяти и менее секунд) простых операций после первоначального обучения и при достижении устойчивых навыков (в рассмотренных случаях после четвертой попытки). В этом случае временные характеристики с 5-процентным уровнем значимости целесообразно описывать с помощью β -распределения (см. рис.4)

$$F(t) = \begin{cases} \frac{(t-4)^{\alpha-1} \cdot (17,5-t)^{\beta-1}}{13,5^{\alpha+\beta+1} \cdot B(\alpha, \beta)} & \text{при } 4c \leq t < 17,5c; \\ 0 & \text{при } t < 4c, t \geq 17,5c, \end{cases}$$

где $B(\alpha, \beta)$ – β -функция Эйлера (параметры соответствующих распределений приведены на рис.4).

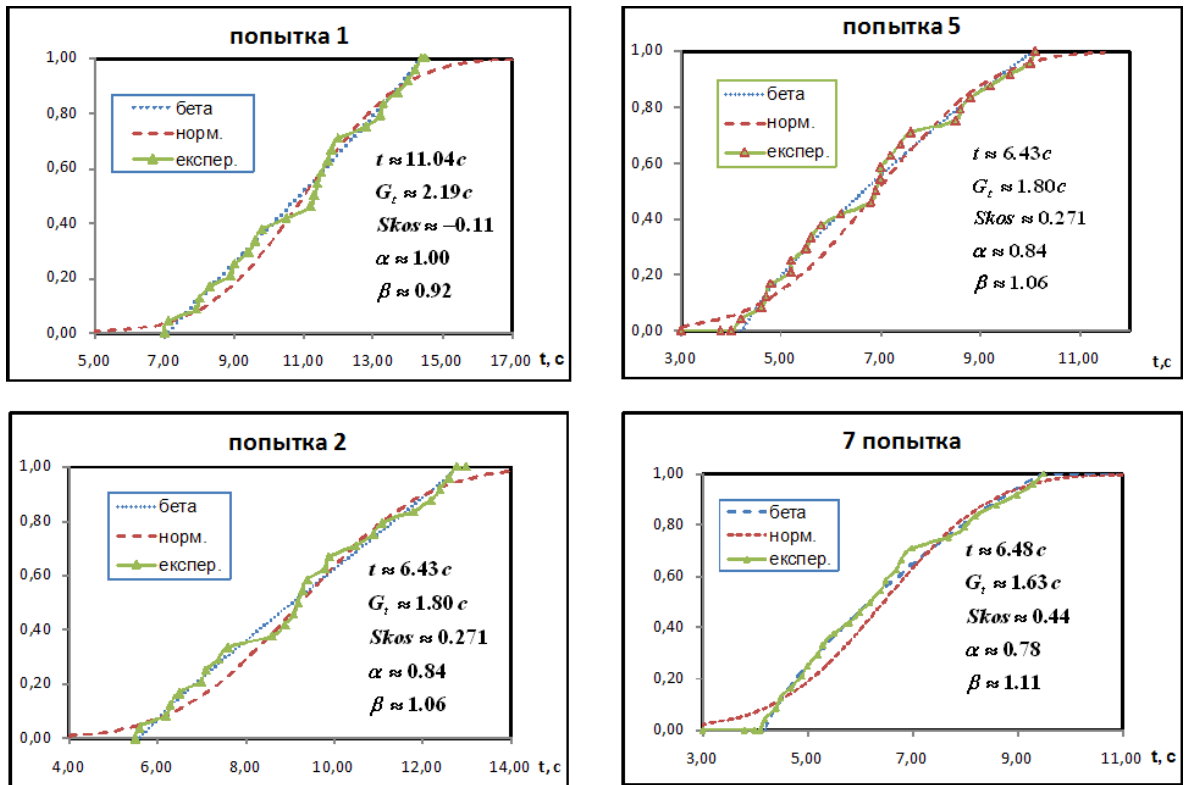


Рис. 4 – Интегральная функция распределения времени переноски реконденсирующего рукава в защитном костюме с фильтрующим противогазом

Таким образом, в соответствии с (6) генерация времени выполнения простых непродолжительных операций, которые выполняются в КСИЗ с ФП, может быть осуществлена следующим образом

$$t_i = \beta^{-1}(z_i, \alpha, \beta, t_{\min}, t_{\max}). \quad (11)$$

В то же время, при снижении уровня значимости до 10% распределения времени выполнения и этих операций, как и всех остальных, которые выполняются при ликвидации ЧС с выбросом

Представление исходных данных для имитационного моделирования процесса ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасного химического вещества

ОХВ, могут рассматриваться как нормальные. Соответственно и их генерацию можно осуществить, опираясь на выражение

$$t_i = \Phi^{-1}(z_i, \bar{t}, G). \quad (12)$$

Переход к работе с нормальными распределениями существенно упрощает процесс имитационного моделирования рассматриваемых процессов.

Выводы:

- имитационное моделирование основных подзадач процесса ликвидации ЧС с выбросом опасного химического вещества, требующих работы в КСИЗ первого типа, целесообразно выполнять путем вычисления обратной функции нормального распределения времени их выполнения. Аналогичная ситуация имеет место и при моделировании того, спасатели выполняют большинство типовых операций в КСИЗ с ФП;

- моделирование того, как выполняются непродолжительные (порядка десяти и менее секунд) простые операции в КСИЗ с ФП после первоначального обучения и при достижении устойчивых навыков, с 5-процентным уровнем значимости целесообразно осуществлять путем вычисления обратной функции β -распределения;

- подзадачи выбора решения, оборудования и циклические моделируются стандартными программными средствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биченок М.М. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі / Биченок М.М., Іванюта І.П., Яковлев Є.О. – К.: Ін-т проблем національної безпеки РНБО України, 2008. – 160 с.
2. Диденко Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ. / Диденко Н.С. – М.: Недра, 1984. – 296 с.
3. Басманов А.Е. Математическая модель диффузии опасных химических веществ в воздухе / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Проблеми надзвичайних ситуацій - № 8 – Харків, Фоліо, 2008 – с.29-39
4. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В.А., Лукь-

- янченков А.Г., Павлов К.Н. и др.]; под ред. В.А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
5. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы: учебник / Брушлинский Н.Н.– М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
 6. Рятувальні роботи при ліквідації надзвичайних ситуаціях: навчальний посібник: Ч.1 / Аветисян В.Г., Сенчихін Ю.М., Куліш Ю.О. та ін.– Київ: Основа, 2006. – С. 85-122.
 7. Стрілець В.М. Особливості вдосконалення дослідницького характеру командно-штабних навчань / Стрілець В.М. // Об'єднання теорії та практики – залог підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів: матеріали науково-технічної конференції – Харків, УЦЗУ, 2008. – с.162-164.
 8. Басманов А.Е. Математическая модель диффузии опасных химических веществ в воздухе / А.Е. Басманов, С.С. Говаленков // Проблемы надзвичайних ситуацій - № 8 – Харків, Фоліо, 2008 – с.29-39
 9. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок/ С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич - М.: Статистика, 1974. – 264 с.
 10. Ковалев П.А. Обоснование способов совершенствования деятельности газодымозащитников: дис. канд. техн. наук: 21.06.02 / Ковальов Павло Анатолійович – Х., 1997. -153 с.
 11. Бородич П.Ю. Метод имитационного эргономического анализа закономерностей, характеризующих отдельные этапы функционирования системы «спасатель – чрезвычайная ситуация в метрополитене – средства защиты и ликвидации аварии» / П.Ю. Бородич, В.М. Стрілець // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Науково-технічний журнал. – 4(72)`2008. – С.21-26
 12. Чучковский В.Н. Выбор способа эргономической оценки деятельности боевых расчетов пожарной охраны/ В.Н. Чучковский, В.М. Стрелец // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Юб. вып. - Харьков: ХИПБ, 1998. – с.51-65.
 13. Клейн Дж. Статистические методы в имитационном моделировании. Вып.1. / Дж.Клейн– М.: Статистика, 1978. – 294 с.
 14. Басманов А.Е. Выбор комплекса средств индивидуальной защиты для обеспечения работ по ликвидации непрерывно действующего источника опасного химического вещества / А.Е.

Басманов, С.С. Говаленков, М.В. Васильев // Проблеми надзвичайних ситуацій - № 13 – Харків, Фоліо, 2011 – с.29-39

Васильев М.В., Стрелец В.М.

Представлення вихідних даних для імітаційного моделювання процесу ліквідації надзвичайних ситуацій з викидом небезпечної хімічної речовини

Показано, що імітаційне моделювання основних підзадач процесу ліквідації НС з викидом небезпечної хімічної речовини доцільно здійснювати шляхом обчислення зворотної функції нормального розподілу часу їх виконання. Підзадачі вибору рішення, обладнання та циклічні моделюються стандартними програмними засобами.

Ключові слова: моделювання, типові операції, комплекси засобів індивідуального захисту, розподіл часу виконання

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

Submission of initial data for the simulation process of emergency response with the release of a hazardous chemical

It is shown that simulation of the major sub-process of liquidation of emergencies with the release of a hazardous chemical is expedient to carry out by computing the inverse normal distribution function of time of their performance. Subproblem solutions selection, equipment, and cyclic modeled by standard software.

Key words: simulation, typical operations, complex PPE, the distribution of run-time