

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЫБРОСА ОПАСНОГО ХИМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА РАСЧЕТАМИ РАЗНОГО УРОВНЯ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ

**В.М. Стрелец, к.т.н., с.н.с., М.В. Васильев,  
Национальный университет гражданской защиты Украины**

В докладе отмечено, что эффективное проведение аварийно-спасательных работ (АСР) при ликвидации чрезвычайной ситуации с выбросом опасных химических веществ (ОХВ) требует разработки комплекса организационно-технических мероприятий, реализация которых обеспечит сокращение времени работ при ограничениях на людские и технические ресурсы, а также без снижения уровня безопасности спасателей. Учитывая то, что для обеспечения не только реальных АСР, но даже для проведения учений, связанных с ликвидацией последствий выброса ОХВ, требуются значительные материальные затраты, что возможны разнообразные способы проведения работ, и при этом конечные результаты существенно зависят от уровня подготовленности спасателей, одним из направлений обоснования практических рекомендаций является имитационное моделирование деятельности спасателей

Анализ использования моделирования в пожарной охране для решения организационно-управленческих задач, в авиации и космонавтике, других сферах деятельности подтвердил эффективность использования результатов моделирования специалистов, работающих в экстремальных ситуациях.

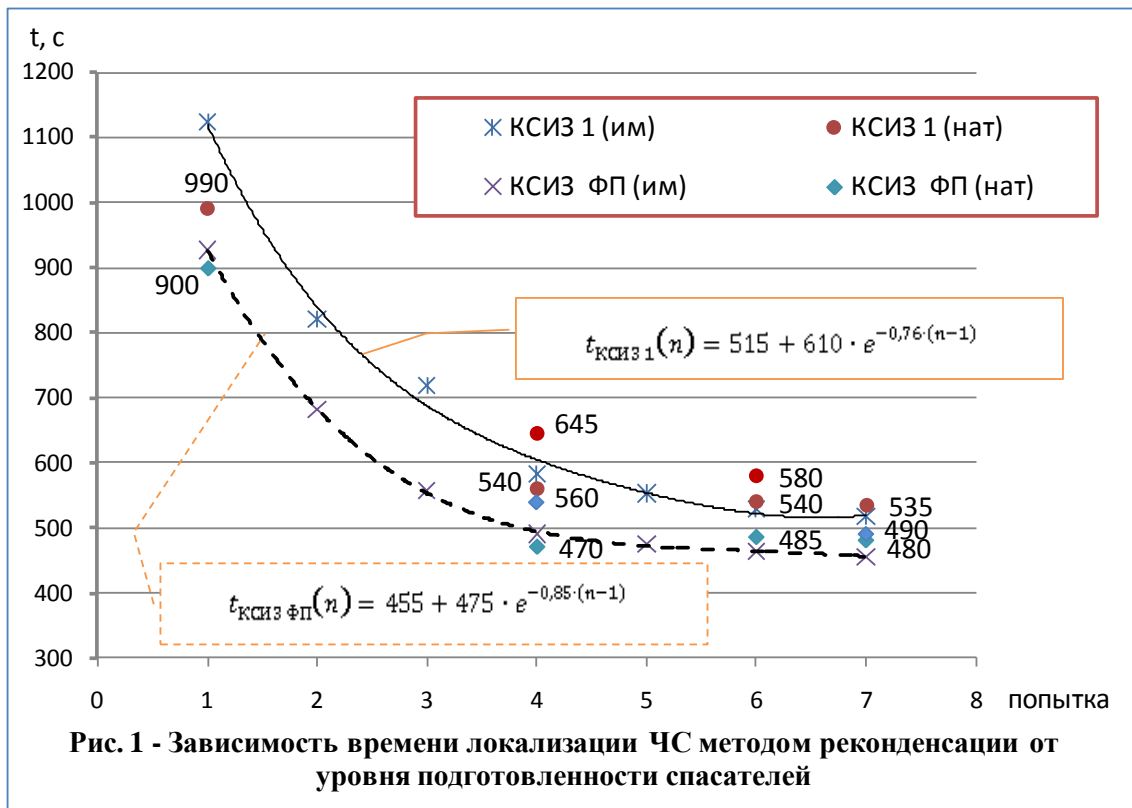
Рассмотрена задача анализа результатов АСР при ликвидации ЧС с выбросом ОХВ, полученных как в результате имитационного, так и в результате физического моделирования процесса локализации очага методом реконденсации.

Для этого, используя специально разработанную модель было проведено имитационное моделирование АСР спасателями, которые имеют разный уровень подготовленности. Полученные результаты имитационного моделирования показали (см. рис.1), что в ходе тренировок время локализации типовой чрезвычайной ситуации методом реконденсации спасателями 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)

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

где  $\bar{t}_{\text{гран}}$  - оценка математического ожидания, к которому приближается время локализации, с;

$\bar{t}_1$  - оценка математического ожидания времени локализации в первой попытке, с;  
 $\lambda$  - параметр экспоненциального распределения.



Кроме результатов имитационного моделирования на рис.1 приведены также результаты физического моделирования локализации методом реконденсации, полученные после n тренировочных попыток в выполнении отдельных операций, составляющих рассматриваемый процесс. Наличие натуральных результатов позволяет сравнить оценки, полученные путем имитационного моделирования, с оценками, которые были получены путем физического моделирования.

Показано, что для того чтобы можно было сравнить результаты, относящиеся к разному уровню n подготовленности персонала и разному оснащению спасателей (в КСИЗ первого типа и в КСИЗ с фильтрующим противогазом), предварительно была выполнена их нормировка

$$X_{\text{КСИЗ1(ФП)}}(n) = \frac{t_{\text{КСИЗ1(ФП)}}(n) - t_{\min \text{КСИЗ1(ФП)}}(n)}{t_{\max \text{КСИЗ1(ФП)}}(n) - t_{\min \text{КСИЗ1(ФП)}}(n)}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{КСИЗ1(ФП)}}(n)$  – оценка времени выполнения рассматриваемого процесса, полученная в результате натурального или имитационного эксперимента, с;

$t_{\max \text{КСИЗ1(ФП)}}(n)$  – максимальная оценка времени выполнения

рассматриваемого процесса, полученная в результате имитационного эксперимента, с;

$t_{\min \text{КСИЗ1(ФП)}}(n)$  – минимальная оценка времени выполнения рассматриваемого процесса, полученная в результате имитационного эксперимента, с.

После преобразования (2) кодированная оценка математического ожидания времени локализации по результатам имитационного моделирования равна  $\bar{x}(\text{им}) = 0,5$ , а кодированная оценка среднеквадратичного отклонения времени локализации по результатам имитационного моделирования, учитывая [1], –  $G_x(\text{им}) \approx 0,167$ .

Для проверки эмпирического распределения  $\{x_{\text{нат}}\}$  на нормальность вначале были получены оценки его математического ожидания  $\bar{x}(\text{нат}) \approx 0,533$  и среднеквадратического отклонения  $G_x(\text{нат}) \approx 0,091$ . Поскольку все отклонения от среднего значения меньше  $\pm 3 \cdot G_x(\text{нат})$

$$\left\langle \begin{array}{l} x_{\min \text{нат}} = 0,367 > 0,259 \\ x_{\max \text{нат}} = 0,676 < 0,808 \end{array} \right\rangle, \quad (3)$$

2/3 всех отклонений меньше  $\pm G_x(\text{нат}) \approx 0,091$ , и половина всех отклонений меньше  $\pm 0,657 \cdot G_x(\text{нат}) \approx 0,060$ , то можно [8] считать, что эмпирическое распределение  $\{x_{\text{нат}}\}$  является нормальным.

Это позволило проверить, значимо ли различаются средние значения, полученные по двум независимым выборкам (по результатам имитационного  $\bar{x}(\text{им})$  моделирования на ЭВМ и натурального  $\bar{x}(\text{нат})$  эксперимента), используя t-критерий Стьюдента. Показано, что значение t-критерия  $t_{\text{набл}}$  меньше критического значения t-критерия  $t_{\text{табл}}$  при заданном уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $\nu$ . Это говорит о том, что на уровне значимости  $\alpha$  (вероятность ошибки меньше 5%) можно принять гипотезу  $H_0$ . Следовательно, различие математических ожиданий времени локализации чрезвычайной ситуации методом реконденсации, полученных путем имитационного на ЭВМ и физического моделирования, статистически незначимо. Таким образом можно сделать вывод о том, что для разработки практических рекомендаций, связанных с работой в комплексе средств индивидуальной защиты при ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасных химических веществ, могут использоваться результаты имитационного моделирования.