

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 14



Харьков - 2003

<i>О.А. Петухова, І.А. Антипов, А.М. Чернуха</i> Аналіз умов ефективного використання кранів квартирного пожежогасіння.....	152
<i>В.О. Пономарьов, О.В. Кулаков</i> Визначення імовірності виникнення пожежі від кабельно-провідникової продукції, що тривалий час експлуатується в стаціонарних умовах.....	156
<i>Г.В.Рева, В.С. Бабенко, Е.В. Воротищев, А.П. Кремена</i> Модель процесу тушення пожеги в резервуарі з нафтопродуктом способом подслоїного генерування пени барботуєчими бульбями газу.....	160
<i>Ю.Н. Сенчихин, И.Ф. Дадашев, В.А. Щоков, С.Н.Щербак</i> Пути рішення задачі расчєта характеристик каскадного пожеги.....	173
<i>В.М. Стрелец, В.Г. Иванов, П.Ю. Бородич</i> Особенности представлення исходных данных для моделювання пожеготушения на станциях метрополитена с помощью аппарата Е-сетей.....	177
<i>В.М. Стрелец, А.А. Калашиков</i> Разработка и анализ сетевой модели боевого развертывания аварийноспасательного автомобиля.....	183
<i>А.М. Тищенко, В.М. Гвоздь, О.Л. Костенко</i> Динамические погрешности тепловых пожарных извещателей.....	188

<i>Д.Г. Трезубов, Е.В. Тарахно</i> Термографические исследования склонности твердых веществ к самонагреванию.....	195
<i>В.В. Тригуб, С.В. Кулаков</i> Температурное поле в зоне локализации нескольких гнездовых очагов.....	201
<i>Ю.В. Уваров, А.А. Мельниченко</i> К вопросу оценки уровня обеспечения безопасной эвакуации людей из зданий при чрезвычайных ситуациях.....	206
<i>И.А. Чуб, Е.Г. Соколовская</i> Автоматизация размещения оперативных подразделений МЧС в регионе.....	209
<i>І.К. Шапа</i> Моделювання викидів шкідливих речовин відпрацьованих газів автомобілів.....	213
<i>О.С. Шевченко</i> Особливості акцентуації іменників пожежної та аварійної лексики.....	217
<i>М.Г. Шкарабура, Д.А. Журбинский, О.І. Дядченко</i> Залежність аерозоль утворюючої і вогнегасної здатності аерозольутворюючих систем від їх компонентного складу.....	224
<i>М.Г. Шкарабура, І.Г. Маладика, О. І. Дядченко</i> Взаємний вплив вогнегасних порошків на інгібування процесу горіння.....	230

В.М. Стрелец, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент, АПБУ,
 В.Г. Иванов, канд. техн. наук, доцент, ХНУРЭ,
 П.Ю. Бородин, адъюнкт, АПБУ

ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА СТАНЦИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА Е-СЕТЕЙ

(представлено д-ром техн. наук Е.В. Бодянским)

Показана целесообразность представления исходных данных, отражающих временные характеристики выполнения отдельных операций пожаротушения, с помощью смещенного распределения Эрланга. При этом данные, полученные с помощью экспертов, вначале представляются в виде β -распределения, которое затем пересчитывается в смещенное распределение Эрланга.

Постановка проблемы. Проведение работ по тушению пожара и спасанию пострадавших на станциях метрополитена представляет собой сложную динамическую управляемую систему, исследование которой целесообразно производить с помощью имитационного моделирования, основанного на использовании аппарата Е-сетей [1]. Характерной особенностью этого аппарата является введение дополнительных элементов, представляющих собой макропозиции. Последние представляют собой некоторые подсети, которые на верхнем уровне можно рассматривать как простые позиции. Одной из самых важных макропозиций, входящих в Е-сетях, является генератор, который представляет собой краевую неконечную позицию сети, обеспечивающей появление маркеров во времени согласно какому-либо закону. В [2] показано, что можно применять как постоянную периодическую генерацию, так и генерации, основанные на любых законах случайного распределения (равномерном, нормальном, экспоненциальном, Пуассона, Эрланга...). Однако на практике оказалось, что статистическое имитационное моделирование пожаротушения на станциях метрополитена сопряжено с рядом проблем, которые связаны, в первую очередь, с законом распределения временных характеристик тех операций, которые составляют рассматриваемый процесс, а именно β - распределением.

Анализ последних исследований и публикаций. Основной трудностью оказалось то, что существующие пакеты прикладных программ [3], обеспечивающие функционирование Е-сетей, не работают с показателями, которые описываются γ -, а соответственно и

β -распределениями. В то же время, в [4,5] было показано, что время выполнения, как отдельных операций всего рассматриваемого процесса, так и некоторых частных временных показателей, влияющих на эффективность боевой работы (например, легочной вентиляции), достаточно адекватно может быть описано с помощью β -распределения. Отказаться от последнего не представляется возможным, так как часть исходных данных для разработанной имитационной модели получается на основе использования метода экспертных оценок, в основе которого лежит как раз опора на β -распределение [6]. В [7] для исследования боевых действий по тушению пожаров на электроподстанциях метрополитена использовался аппарат временных сетей Петри с приоритетами. При этом для оценки временных характеристик всего процесса в целом использовались лишь минимальные и максимальные значения отдельных операций, по которым и рассчитывалась ожидаемая продолжительность всего комплекса работ. Аналогичный подход использовался и в [1].

Постановка задачи и ее решение. Поскольку время выполнения не описывается никаким законом распределения, полученные результаты в случае использования такого подхода не отражают эффекты взаимодействия между различными факторами (например, уровнем подготовленности как личного состава пожарно-спасательной службы, так и сотрудников метрополитена, степенью их технического оснащения...), которые влияют на тушение пожара и спасание пострадавших. Исходя из этого, была поставлена следующая задача – перейти от полученных исходных данных, описанных с помощью β -распределения, к одному из тех распределений, работа с которым в среде стандартного пакета прикладных программ, реализующего аппарат E-сетей, предполагается изначально.

В связи с этим были проанализированы распределения [4,5] временных показателей, которые характеризуют выполнение отдельных операций боевой работы. Анализ полученных результатов позволяет предположить, что они могут быть описаны с помощью смещенного распределения Эрланга, поскольку:

– числовые значения рассматриваемых показателей ограничены снизу, что может быть объяснено наличием предельных возможностей человека, но при этом могут продолжаться и неограниченно долго;

– время выполнения операции может принять любое значение в интервале $[t_{\min}, \infty]$, т.е. является непрерывной случайной величиной;

– среди комплекса операций, которые выполняются личным составом, могут встречаться такие, время выполнения которых за-

висит от большого числа случайных факторов, каждый из которых в отдельности является малосущественным, а также операции, на время выполнения которых оказывает влияние небольшое число важных факторов.

Первая особенность требует, чтобы закон распределения был усеченным на интервале $[t_{\min}, \infty]$, вторая – непрерывности закона распределения, а третья требует, чтобы закон распределения был таким, при котором наиболее вероятное значение времени выполнения работы могло располагаться в любом месте интервала $[t_{\min}, t_{\max}]$. Всем этим требованиям и удовлетворяет смещенное распределение Эрланга

$$f(t) = t_{\min} + \mu \cdot \frac{[\mu \cdot (t - t_{\min})]^r}{r!} \cdot e^{-\mu(t - t_{\min})}, \quad (1)$$

где μ – параметр закона Эрланга, мин^{-1} ; r – порядок закона Эрланга.

Исходя из того, что к основным свойствам распределения Эрланга [8] относятся следующие соотношения, которые устанавливают зависимость дисперсии $D(X)$ и математического ожидания с параметром μ и порядком r закона Эрланга,

$$D(X) = \frac{r+1}{\mu^2}; \quad (2)$$

$$M(X) = \frac{r+1}{\mu}, \quad (3)$$

были найдены параметры μ и r для всех распределений, полученных экспериментально.

Проверка того, что расхождения между эмпирическими распределениями и полученным теоретическими, являются случайными, была выполнена с помощью критерия Романовского

$$R = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2k}}, \quad (4)$$

где $k = n - 2$ – число степеней свободы; n – число групп, по которым производится сравнение; χ^2 – критерий Пирсона.

Полученные результаты показали, что величина критерия Романовского для всех распределений, которые были получены

экспериментально, при их сравнении с теоретическими, представлены в виде (1), по своему абсолютному значению меньше трех. Это позволило сделать вывод [8] о том, что для данных распределений времени выполнения отдельных операций модель смещенного закона распределения Эрланга является приемлемой для практического использования.

Аналогичным образом были рассчитаны параметры смещенного распределения Эрланга и для тех случаев, когда оценки времени выполнения отдельных операций пожаротушения на станциях метрополитена были получены с помощью экспертов. Однако этому этапу предшествовало несколько других. Так, вначале каждый из экспертов указывал прогнозные значения наиболее вероятного \tilde{t}_j , минимального $t_{j\min}$ и максимального $t_{j\max}$ времени выполнения j -ой операции. Величина \tilde{t}_j рассматривалась как мода распределения времени выполнения j -ой операции. После этого находились средневзвешенные прогнозные оценки [9], которые и использовались далее.

В [4] была показана и возможность описания времени выполнения отдельной операции с помощью β -распределения, для которого известно [10], что его мода равна

$$\tilde{x} = \frac{\alpha - 1}{\alpha + \beta - 2} \quad (5)$$

Математическое ожидание статистической случайной величины по этому распределению

$$\bar{x} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}, \quad (6)$$

а дисперсия

$$D(x) = \frac{\alpha \cdot \beta}{(\alpha + \beta)^2 \cdot (\alpha + \beta + 1)} \quad (7)$$

Учитывая то, что для одновершинных распределений среднеквадратическое отклонение примерно равно 1/6 интервала, на котором оно рассматривается, то есть

$$G_j \approx \frac{t_{j\max} - t_{j\min}}{6}, \quad (10)$$

путем решения системы уравнений (7), (8) и (9) находятся α и β параметры распределения

$$\beta(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \int_0^x x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dy. \quad (11)$$

Проверка по (4) подтвердила работоспособность β -распределения. Для перехода от этого распределения к распределению Эрланга использовалось моделирование на ЭВМ времени выполнения рассматриваемой операции путем вычисления обратной F^{-1} функции β -распределения и получения соответствующего множества значений

$$\{t_y = F^{-1}(y, \alpha_y, \beta_y, \tilde{t}_{y\max}, \tilde{t}_{y\min})\}, \quad (12)$$

где y - одно из множества чисел, распределенных равномерно на диапазоне $[0;1]$.

Используя (2) и (3), обработка экспертных оценок в виде множества $\{t_y\}$ позволила после соответствующей проверки по (6) их также представить в виде (1).

Выводы. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- имитационное моделирование процесса пожаротушения на станциях метрополитена может быть выполнено с помощью пакетов прикладных программ, реализующих аппарат Е-сетей, в основе которого лежит появление маркеров во времени согласно смещенному распределению Эрланга;

- для представления исходных данных, полученных с помощью экспертов, целесообразно использовать переход к распределению Эрланга путем генерации на ЭВМ множества времен выполнения рассматриваемой отдельной операции с помощью вычисления обратной функции β -распределения;

- перспективным направлением имитационного моделирования с помощью существующих пакетов прикладных программ, реализующих Е-сети, является проведение многофакторного машинного эксперимента с последующим представлением полученных результатов в виде соответствующей регрессионной модели.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 В.М. Стрелец, П.Ю. Бородич Имитационное моделирование начального этапа пожаротушения на станциях метрополитена // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Вып.13. - Харьков: АПБУ, 2003. - С.60 - 80.
- 2 А.Е.Костин Принципы моделирования сложных дискретных систем. - М.: Изд.МИЭТа, 1983. - 107 с.
- 3 Г.В. Пранявичус, Д.Д. Дземидене. Применение Е-сетей для формализованого описания и моделирования вычислительных систем// Статистические проблемы управления. Вып.48.Вильнюс, 1998. - С.65 - 85.
- 4 П.А.Ковальов, П.Ю. Бородич, В.В.Стрелець, С.С.Чубар. Розробка пропозицій щодо вдосконалення аварійно-рятувальних робіт при надзвичайних ситуаціях в метрополітені // Право і безпека: Науковий журнал - 2002. - Вип.1. - С.156 - 161.
- 5 П.Ю. Бородич. Особенности изменения легочной вентиляции в ходе выполнения работ по тушению пожаров на станциях метрополитена // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Вып.13. - Харьков: АПБУ, 2003. - С.60 - 80.
- 6 В.М. Стрелец. Методы эргономической оценки деятельности личного состава подразделений пожарной охраны // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. Спец. вып. - Харьков: ХИПБ, 1999. - С.60 - 80.
- 7 В.Ф. Бондарев, В.В. Семенов. Имитационное моделирование боевых действий по тушению пожаров на электроподстанциях метрополитена // Пожарная безопасность метрополитенов: Сб.науч.тр. - М.: ВНИИПО, 1989. - С. 44 - 59.
- 8 Н.Н. Брушлинский. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы. Учебник. - М.: МИПБ МВД России, 1998. - 255с.
- 9 Г. Крамер. Математические методы статистики М.: Наука, 1948. - 566с.
- 10 В.М. Стрелец. Экспертная оценка операций боевого развертывания пожарного автомобиля.//Проблемы пожарной безопасности. Сб.науч.тр. - Юб.вып. - Харьков: ХИПБ, 1998. - С.40 - 43.

Статья поступила в редакцию 16.10.2003 г.