УДК: 502.5
DOI: 10.25629/SMW.2024.01.04

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Ломакин М.И.
Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам
гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России
(федеральный центр науки и высоких технологий)

Аннотация

В статье представлен подход для нахождения гарантированных (нижних) оценок остаточного среднего времени развития чрезвычайной ситуации в условиях неполных данных о времени развития чрезвычайной ситуации, представленных малыми ограниченными выборками времени развития чрезвычайной ситуации, гарантированная (нижняя) оценка остаточного среднего времени развития чрезвычайной ситуации находится с использованием результатов решения проблемы моментов Маркова.

Ключевые слова

Модель, гарантированная оценка, остаточное среднее время развития чрезвычайной ситуации, вероятность, функция распределения.

Введение

Продолжительность развития чрезвычайной ситуации (ЧС) во многом зависит от организации проведения мероприятий по их ликвидации, т.е. от организации выполнения аварийно-спасательных работ. «Аварийно-спасательные работы (АСР) – действия по спасению людей, материальных и культурных ценностей, защите природной среды в зоне ЧС, локализации ЧС и подавлению или доведению до минимально возможного уровня воздействия характерных для них опасных факторов. АСР характеризуются наличием факторов, угрожающих жизни и здоровью проводящих эти работы людей, и требуют специальной подготовки, экипировки и оснащения» [1].

Продолжительность развития ЧС примерно соответствует длительности выполнений АСР. Все операции АСР, как правило, фиксированы и задокументированы [2].

В реальных условиях продолжительность АСР весьма варьируется и проходит в условиях отличных от некоторой усредненной ситуации, для которой определены нормативы технологических операций. Продолжительность АСР и соответственно продолжительность развития ЧС может рассматриваться как случайная величина.

Время развития ЧС оценивается различными показателями, одним из которых является такой показатель как остаточное среднее время развития ЧС. Задача оценки этого показателя может отнесена к задачам индивидуального прогнозирования. Этот прогноз, как правило, используется для установления предельно-возможного срока развития ЧС и оценки возможного ущерба от ЧС.

Цель настоящей статьи определение гарантированной оценки остаточного среднего времени развития ЧС.

Основные результаты

Определим аналогично работе [3] остаточное среднее время развития ЧС как остаточный средний ресурс некоторой системы. Пусть ξ – продолжительность развития ЧС. Под остаточным средним временем развития ЧС сверх времени τ будем понимать длительность развития ЧС от момента τ до завершения ЧС при установленных режимах выполнения АСР.

Обозначим значение остаточного среднего времени развития ЧС через ξ_T , имеем

$$\xi_T = (\xi - \tau) \mid (\xi > \tau). \tag{1}$$

Величина ξ_T – условная случайная величина.

Остаточное среднее время развития ЧС определим следующим образом:

$$R(\tau) = M(\xi_T). \tag{2}$$

$M(\xi_T)$ – математическое ожидание случайной величины ξ_T.

Остаточное среднее время развития ЧС может быть определено в виде [3]:

$$R(\tau) = \frac{1}{P(\tau)} \int_{\tau}^{\infty} P(x)dx. \tag{3}$$

В последнем соотношении $P(x) = 1 - F(x), F(x) = P(\xi < x) -$ функция распределения времени развития ЧС.

При известной функции распределения времени развития ЧС $F(x)$ остаточное среднее время развития ЧС определяется непосредственно из формулы (3), в частности, при экспоненциальном распределении времени развития ЧС, т.е. при $F(x) = 1 - \exp(-\lambda x)$, остаточное среднее время развития ЧС будет равно

$$R(\tau) = \frac{1}{\lambda}. \tag{4}$$

В реальных условиях указанные функции распределения времени развития ЧС, как правило, неизвестны, а известны только конечные (малые) выборки значений времени развития ЧС.

Пусть известна выборка значений времени развития ЧС $X = (x_1, x_2, \ldots, x_k)$, на основании которой нельзя однозначно идентифицировать исходную функцию распределения $F(x)$.

Аналогично работам [4-10] определим множество функций распределения F_0, из которых могла быть получена выборка $X = (x_1, x_2, \ldots, x_k)$. На основе выборки X определим s выборочных моментов распределения $F(x)$ по следующим соотношениям:

$$\mu_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} x_j^i \quad , i = 1,2, \ldots, s. \tag{5}$$

Определим множество функций распределения F_1, у которых моменты распределения равны выборочным моментам μ_i, полученным на основе выборки X по соотношениям (5), т.е.

$$F_1 = \{ F(t) \colon \int_0^{\infty} t^i dF(t) = \mu_i,\ i = 1,2, \ldots, s \}. \tag{6}$$

В работе [7] показано, что множества функций распределения F_0 и F_1 совпадают. Тогда задача нахождения гарантированной оценки остаточного среднего времени развития ЧС может быть сформулирована следующим образом: найти гарантированную (нижнюю) оценку остаточного среднего времени развития ЧС $R(\tau)$ на множестве функций распределения F_1 , т.е. найти

$$R(\tau)_{\text{г}} = \min_{F(t)\in F_1} R(\tau). \tag{7}$$

Для определения $R(\tau)_{\text{г}}$ воспользуемся следующим соотношением:

$$R(\tau) = \frac{1}{P(\tau)} \int_{\tau}^{\infty} P(x)dx \geq \min_{F(t)\in F_1} \int_{\tau}^{\infty} P(x)dx\,. \tag{8}$$

Это соотношение следует из условия, что $P(\tau) \leq 1$.

Преобразуем правую часть соотношения (8), имеем

$$\int_{\tau}^{\infty} P(x)dx = \int_{0}^{\infty} P(x)dx - \int_{0}^{\tau} P(x)dx = \mu_1 - \int_{0}^{\tau} (1 - F(x))dx \ =$$

$$= \mu_1 - \tau + \int_{0}^{\tau} (\tau - x)dF(x). \tag{9}$$

Тогда вместо задачи, определяемой соотношением (7), перейдем к следующей задаче, найти

$$R(\tau)_{\text{г}} = \mu_1 - \tau + \min_{F(t)\in F_1} \int_{0}^{\tau} (\tau - x)dF(x). \tag{10}$$

Для решения последней задачи воспользуемся следующим результатом.

Утверждение [6,10].

«При заданных значениях $n+1$ моментов

$$m_i = \int_{a}^{b} u_i(t)dF(t)\,, i = \overline{0,l}; \tag{11}$$

существует наименьшее значение J_{min} интеграла

$$J = \int_{a}^{b} Q(t)dF(t) \tag{12}$$

и оно находится по правилу:

если $l = 2v - 1$, то

$$J_{min} = \sum_{j=1}^{v} p_j Q(\tau_j), \tag{13}$$

где числа $p_j > 0$ $(j = \overline{1,v})$ и $0 < \tau_1 < \tau_2 < \cdots < \tau_v < \infty$ определяются из равенств

$$\sum_{j=1}^{v} p_j u_i(\tau_j) = m_i, \ (\mathrm{i} = \overline{0,l}). \tag{14}$$

Если $l = 2\nu - 2$, то минимум интеграла также определяется соотношением (13), числа $p_j > 0$ $(j = \overline{1,\nu})$ и $0 = \tau_1 < \tau_2 < \cdots < \tau_\nu < \infty$ определяются из равенств (14).

n+1 – я производная подинтегральной функции Q(t) должна быть неотрицательной».

В нашем случае $Q(t) = (\tau - x)$ и, следовательно, $n+1$ (при n > 0) – я ее производная неотрицательна.

Последнее утверждение позволяет находить гарантированные (нижние) остаточного среднего времени развития ЧС.

Заключение

Таким образом, в настоящей статье предложен подход для нахождения гарантированных (нижних) оценок остаточного среднего времени развития ЧС в условиях неполных данных о времени развития ЧС, представленных малыми ограниченными выборками. Итоговая оценка остаточного среднего времени развития ЧС определяется как нижняя оценка определенного интеграла на множестве функций распределения с заданными моментами, равными выборочным моментам, определенным по исходной выборке времени развития ЧС. Для нахождения гарантированной (нижней) оценки остаточного среднего времени развития ЧС используются результаты решения проблемы моментов Маркова.

Библиография

1. Наставление по организации управления и оперативного (экстренного) реагирования при ликвидации чрезвычайных ситуаций (утв. протоколом заседания Правительственной комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности от 10.03.2020 №1). [Электронный ресурс]. – URL: https://legalacts.ru/doc/nastavlenie-po-organizatsii-upravlenija-i-operativnogo-ekstrennogo-reagirovanija-pri.

2. Руководство по ведению аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий с комплектом «типовых технологических карт разборки транспортных средств, деблокирования и извлечения пострадавших при ликвидации последствий ДТП». [Электронный ресурс]. – URL: https://legalacts.ru/doc/rukovodstvo-po-vedeniiu-avariino-spasatelnykh-rabot-pri-likvidatsii-posledstvii-dorozhno-transportnykh/

3. Садыхов Г.С., Савченко В.П., Елисеева О.В. Основы оценок остаточного ресурса изделий // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». 2011. С. 83 – 99.

4. Ломакин М.И., Сухов А.В., Докукин А.В., Ниязова Ю.М. Оценка показателей надежности космических аппаратов в условиях неполных данных // Космические исследования. 2021. Т.59. № 3. С. 235-239.

5. Buryi A.S., Lomakin M.I., Sukhov A.V. Quality assessment of «stress-strength» models in the conditions of big data // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2020. № 9(3). С. 3276.

6. Ломакин М.И., Ниязова Ю.М., Докукин А.В., Злыднев М.И., Гарин А.В. Оценка качества бизнес-процессов предприятия в условиях неполных данных // Сварочное производство. 2022. №10. С. 80-84.

7. Lomakin M., Buryi A., Dokukin A., Niyazova J. Strekha A., Balvanovich A. Estimation of quality indicators based on sequential measurements analysis // International Journal for Quality Research. 2020. №1. pp. 823-834.

8. Ломакин М.И. Оценка показателей качества дистанционно-контролируемых объектов по малым выборкам // Компетентность. 2016. № 9 – 10. С. 46–49.

9. Ломакин М.И. Гарантированные оценки вероятности безотказной работы в классе распределений с фиксированными моментами// Известия АН СССР, Автоматика и телемеханика, 1990, №1. С.154-161.

10. Ломакин М.И., Докукин А.В. Оценка моментов квантованной случайной величины // Научно-технический вестник ИТМО. 2023. Т.23. № 3. С. 646–651.

ESTIMATION OF THE RESIDUAL MEAN TIME TO DEVELOP EMERGENCY SITUATION

Lomakin M.I.
All-Russian Research Institute on Problems of
Civil Defense and Emergency Situations of EMERCOM of Russia
(federal center of science and high technologies)

Abstract

The paper presents an approach for finding the guaranteed (lower) estimates of the residual average time of emergency development in the conditions of incomplete data on the time of emergency development represented by small limited samples of emergency development time, the guaranteed (lower) estimate of the residual average time of emergency development is found using the results of solving the problem of Markov moments.

Keywords

Model, guaranteed estimation, residual mean time of emergency development, probability, distribution function.