

Модель ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Часть 3*

ISSN 1996-8493

© Технологии гражданской безопасности, 2023

М.И. Ломакин, А.В. Докукин, В.Б. Мошков, И.Ю. Олтян, Ю.М. Ниязова

Аннотация

Приведены результаты численного моделирования ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; ранжирование чрезвычайных ситуаций выполнено на основе принципа стохастического доминирования по оцениваемым параметрам. Оцениваемые параметры чрезвычайных ситуаций рассматриваются как выборки из некоторых неизвестных распределений. Численное моделирование выполнено с помощью Microsoft Excel пункта «Поиск решения» при трех первых моментах оцениваемых параметров.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация; оцениваемые параметры; вероятность; функция распределения; стохастическое доминирование.

Natural and Man-Made Emergencies Ranking Model. Part 3

ISSN 1996-8493

© Civil Security Technology, 2023

M. Lomakin, A. Dokukin, V. Moshkov, I. Oltyan, Yu. Niyazova

Abstract

The results of numerical modeling of natural and man-made emergencies ranking are presented; emergencies ranking is based on the principle of stochastic dominance according to their estimated parameters. Estimated emergency parameters are considered as samples from some unknown distributions. Numerical modeling was performed using Microsoft Excel item "Solution search" at the first three points of the estimated parameters.

Key words: emergency situation; estimated parameters; probability; distribution function; stochastic dominance.

12.10.2023

* Части 1 и 2 — см. «Технологии гражданской безопасности», 2023, № 2 (76), № 3 (77).

Введение

Статья является продолжением статей [1, 2], в ней используются все обозначения и допущения предыдущих статей.

В статье выполнена практическая апробация разработанного в статьях [1, 2] методического инструментария ранжирования ЧС, основанного на принципе стохастического доминирования, в рамках которого параметры ЧС рассматриваются как случайные величины. Исходные данные о ЧС, представленные в табл. 1 работ [1, 3], анализируются как выборки из некоторых неизвестных распределений, т.е. рассматривается непараметрический случай ранжирования ЧС.

Основные результаты

Аналогично статьям [1, 2] рассматривается множество ЧС, $i = \overline{1, n}$, например, природного или техногенного характера, характеризуемых одинаковыми, но разными по величинам параметрами $X_j, j = \overline{1, m}$, т.е. каждая i -ая ЧС может быть охарактеризована матрицей параметров:

$$MX_i = \begin{pmatrix} x_{i11} & x_{i12} & \dots & x_{i1m} \\ x_{i21} & x_{i22} & \dots & x_{i2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{ik1} & x_{ik2} & \dots & x_{ikm} \end{pmatrix}, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Здесь:

MX_i — матрица параметров i -ой ЧС;

каждый столбец матрицы — это информация о конкретном параметре, которую можно рассматривать как выборку из некоторого распределения;

в общем случае количество значимых элементов k в столбцах может быть различным.

Ранжирование ЧС проводится по уровню стохастического доминирования [1, 2].

Основное соотношение для выполнения процедуры ранжирования ЧС — это соотношение (6) из работы [2] в виде:

$$\prod_{l=1}^m P_{qul}(1) > \prod_{j=1}^m P_{ujj}(1), \quad (2)$$

где $P_{qul}(1) = P(Z_{qul} \geq 1)$, $P_{ujj}(1) = P(Z_{ujj} \geq 1)$ — вероятности стохастического доминирования одной ЧС (q -ой) над другой ЧС (u -ой).

Случайные величины Z_{qul} и Z_{ujj} определяются следующим образом:

$$Z_{qul} = \frac{X_{ql}}{X_{ul}}, Z_{ujj} = \frac{X_{qj}}{X_{uj}}.$$

Для выполнения процедуры ранжирования ЧС в соответствии с соотношением (2) необходимо найти

нижние оценки вероятностей $P_{qul}(1)$, $P_{ujj}(1)$ на множестве распределений с моментами, равными определенным на основе данных из табл. 1 [1]. Для этого при трех моментах μ_1, μ_2, μ_3 для нахождения P_{\min} необходимо решить системы уравнений (11) или (12) из [2].

При этом такая оценка верна при $\tau = 1 < \mu_1$ [4, 5].

При $\tau = 1 > \mu_1$ необходимо пользоваться иным результатом, полученным авторами работы [6]: вместо вероятности $P_{qul}(1) = P(Z_{qul} \geq 1)$ следует рассматривать вероятность $P(X_{ql} \geq X_{ul})$. Нижняя оценка последней вероятности при первом известном моменте при $M(X_{ql}) < M(X_{ul})$ определяется соотношением [6]:

$$P_{\min} = \frac{M(X_{ql})}{2M(X_{ul})}, \quad (3)$$

где $M(X_{ql}) = \mu_{1ql}$, $M(X_{ul}) = \mu_{1ul}$ — первые моменты (математические ожидания) соответствующих величин.

Результаты расчетов вероятностей стохастического доминирования одной ЧС над другой ЧС по количеству пострадавших и погибших приведены соответственно в табл. 1, 2.

В табл. 1, 2 первая строка и первый столбец — номера ЧС, соответствующие табл. 1 [1]:

- 1 — опасные гидрологические явления;
- 2 — сильный дождь или снегопад;
- 3 — бури, смерчи, ураганы;
- 4 — крупные природные пожары;
- 5 — снежные лавины;
- 6 — отрыв прибрежных льдов.

Для каждой ЧС соответственно в строках 2–5, 6–9, 10–13, 14–17, 18–21, 22–25 указаны первый (m_1), второй (m_2), третий (m_3) моменты случайных величин $Z_{ij} = \frac{X_i}{Y_j}$, а также значение нижней оценки вероятности стохастического доминирования $P_{ij}(X_i \geq Y_j) = P(Z_{ij} \geq 1)$. Здесь индекс i относится к номеру ЧС из первого столбца, а индекс j относится к номеру ЧС из первой строки.

В табл. 3 приведены итоговые значения вероятностей стохастического доминирования ЧС.

В табл. 3 первая строка и первый столбец — номера ЧС. В клетке (i, j) — итоговая вероятность доминирования i -ой ЧС над j -ой ЧС. В столбце 8 итоговые вероятности доминирования ЧС, в столбце 9 — ранги ЧС.

Полученные результаты ранжирования ЧС отличаются от результатов ранжирования ЧС работ [1] и [3]. Эти результаты являются более достоверными в сравнении с ранжированием работ [1, 3]. Это определяется следующим:

- используется вся имеющаяся информация о ЧС, представленная оцениваемыми параметрами (количество пострадавших и погибших);

- не делается никаких предположений о распределении оцениваемых параметров при ранжировании ЧС;

- итоговые оценки вероятностей стохастического доминирования ЧС достаточно различны по величине.

Все расчеты выполнены в Microsoft Excel.

Таблица 1

Данные по пострадавшим

		1	2	3	4	5	6
1	m_1	1,00E+00	1,65E+00	1,41E+03	9,54E+03	7,30E+03	6,90E+03
	m_2	1,00E+00	5,45E+00	1,36E+07	3,79E+08	1,06E+08	1,02E+08
	m_3	1,00E+00	2,25E+01	1,42E+11	1,83E+13	1,95E+12	1,91E+12
	$P(X_1 > Y_j)$	1,00E+00	8,24E-01	1,20E-01	2,06E-01	4,24E-01	3,94E-01
2	m_1	9,63E+00	1,00E+00	6,06E+02	1,05E+04	7,19E+03	6,46E+03
	m_2	4,00E+02	1,00E+00	2,13E+06	4,30E+08	9,58E+07	7,41E+07
	m_3	2,01E+04	1,00E+00	8,59E+09	2,11E+13	1,53E+12	9,75E+11
	$P(X_2 > Y_j)$	2,04E-01	1,00E+00	1,68E-01	2,30E-01	2,65E-01	5,62E-01
3	m_1	1,10E+00	3,91E-02	1,00E+00	3,36E+02	1,28E+02	1,19E+02
	m_2	8,92E+00	3,80E-03	1,00E+00	8,77E+05	3,35E+04	3,10E+04
	m_3	7,53E+01	5,14E-04	1,00E+00	2,32E+09	1,02E+07	9,55E+06
	$P(X_3 > Y_j)$	1,32E-01	9,19E-03	1,00E+00	1,24E-01	4,56E-01	4,47E-01
4	m_1	1,01E-01	1,06E-01	2,89E+00	1,00E+00	2,60E+02	2,20E+02
	m_2	3,33E-02	6,00E-02	3,48E+01	1,00E+00	2,11E+05	1,51E+05
	m_3	1,45E-02	4,02E-02	5,27E+02	1,00E+00	1,93E+08	1,14E+08
	$P(X_4 > Y_j)$	1,59E-02	1,70E-02	2,33E-01	1,00E+00	2,13E-01	3,11E-01
5	m_1	3,73E-02	9,27E-04	2,15E-01	2,16E+00	1,00E+00	9,06E-01
	m_2	1,10E-02	3,90E-06	3,20E-01	1,61E+01	1,00E+00	8,36E-01
	m_3	3,25E-03	2,10E-08	5,12E-01	1,28E+02	1,00E+00	7,83E-01
	$P(X_5 > Y_j)$	6,56E-05	7,01E-05	3,82E-03	2,85E-01	1,00E+00	6,56E-05
6	m_1	3,73E-02	9,77E-04	2,17E-01	2,16E+00	1,13E+00	1,00E+00
	m_2	1,10E-02	3,97E-06	3,21E-01	1,61E+01	1,29E+00	1,00E+00
	m_3	3,25E-03	2,10E-08	5,12E-01	1,28E+02	1,51E+00	1,00E+00
	$P(X_6 > Y_j)$	7,24E-05	7,74E-05	4,21E-03	4,21E-01	6,25E-01	1,00E+00

Таблица 2

Данные по погибшим

		1	2	3	4	5	6
1	m_1	1,00E+00	3,13E+00	2,21E+00	2,57E+00	2,80E+00	2,20E+01
	m_2	1,00E+00	9,78E+00	4,88E+00	6,70E+00	7,88E+00	5,00E+02
	m_3	1,00E+00	3,07E+01	1,08E+01	1,78E+01	2,23E+01	1,17E+04
	$P(X_1 > Y_j)$	1,00E+00	9,99E-01	9,99E-01	9,96E-01	9,96E-01	9,96E-01
2	m_1	3,21E-01	1,00E+00	7,08E-01	8,19E-01	9,00E-01	7,00E+00
	m_2	1,03E-01	1,00E+00	5,03E-01	6,76E-01	8,20E-01	5,00E+01
	m_3	3,31E-02	1,00E+00	3,59E-01	5,62E-01	7,56E-01	3,64E+02
	$P(X_2 > Y_j)$	1,59E-01	1,00E+00	3,50E-01	4,12E-01	4,38E-01	9,87E-01
3	m_1	4,53E-01	1,42E+00	1,00E+00	1,17E+00	1,27E+00	1,00E+01
	m_2	2,05E-01	2,01E+00	1,00E+00	1,39E+00	1,61E+00	1,04E+02
	m_3	9,31E-02	2,87E+00	1,00E+00	1,69E+00	2,05E+00	1,12E+03
	$P(X_3 > Y_j)$	2,27E-01	9,75E-01	1,00E+00	9,51E-01	9,76E-01	9,33E-01

Окончание табл. 2

		1	2	3	4	5	6
4	m_1	3,95E-01	1,23E+00	8,75E-01	1,00E+00	1,12E+00	8,50E+00
	m_2	1,59E-01	1,52E+00	7,81E-01	1,00E+00	1,29E+00	7,25E+01
	m_3	6,46E-02	1,90E+00	7,11E-01	1,00E+00	1,55E+00	6,21E+02
	$P(X_4 > Y_j)$	1,93E-01	9,70E-01	4,25E-01	1,00E+00	9,35E-01	9,75E-01
5	m_1	3,59E-01	1,13E+00	7,92E-01	9,31E-01	1,00E+00	8,00E+00
	m_2	1,30E-01	1,28E+00	6,28E-01	8,99E-01	1,00E+00	6,80E+01
	m_3	4,70E-02	1,48E+00	5,00E-01	8,97E-01	1,00E+00	6,08E+02
	$P(X_5 > Y_j)$	1,82E-01	9,62E-01	4,00E-01	4,71E-01	1,00E+00	9,97E-01
6	m_1	4,70E-02	1,46E-01	1,04E-01	1,18E-01	1,33E-01	1,00E+00
	m_2	2,28E-03	2,17E-02	1,13E-02	1,40E-02	1,89E-02	1,00E+00
	m_3	1,14E-04	3,29E-03	1,27E-03	1,66E-03	2,81E-03	1,00E+00
	$P(X_6 > Y_j)$	2,27E-02	7,14E-02	5,00E-02	5,88E-02	6,25E-02	1,00E+00

Таблица 3

Итоговые значения вероятностей стохастического доминирования ЧС

	1	2	3	4	5	6	Итог	Ранг
1	1,00E+00	8,23E-01	1,20E-01	2,05E-01	4,22E-01	3,92E-01	3,36E-03	1
2	3,25E-02	1,00E+00	5,88E-02	9,48E-02	1,16E-01	5,55E-01	1,16E-05	2
3	3,00E-02	8,96E-03	1,00E+00	1,18E-01	4,45E-01	4,17E-01	5,88E-06	3
4	3,07E-03	1,65E-02	9,90E-02	1,00E+00	1,99E-01	3,03E-01	3,03E-07	4
5	1,19E-05	6,75E-05	1,53E-03	1,34E-01	1,00E+00	6,54E-05	1,08E-17	5
6	1,65E-06	5,53E-06	2,11E-04	2,48E-02	3,91E-02	1,00E+00	1,85E-18	6

Заключение

Таким образом, в статье приведены результаты численного моделирования ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по предложенным в предыдущих двух частях статьи моделям. В этих моделях ранжирование чрезвычайных ситуаций выполняется на основе принципа стохастического доминирования по оцениваемым параметрам, при этом оцениваемые параметры чрезвычайных

ситуаций рассматриваются как выборки из некоторых неизвестных распределений. Численное моделирование ранжирования чрезвычайных ситуаций выполнено для случая, когда: используются три первых момента оцениваемых параметров; гарантированные (нижние) оценки вероятности стохастического доминирования находятся из решения системы степенных моментных уравнений с помощью Microsoft Excel пункта «Поиск решения».

Литература

1. Ломакин М.И., Докукин А.В., Мошков В.Б., Ниязова Ю.М. Модель ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Часть 1 // Технологии гражданской безопасности. 2023. № 2.
2. Ломакин М.И., Докукин А.В., Мошков В.Б., Олтян И.Ю., Ниязова Ю.М. Модель ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Часть 2 // Технологии гражданской безопасности. 2023. № 3.
3. Акимов В.А., Олтян И.Ю., Иванова Е.О. Методика ранжирования чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера по степени их катастрофичности // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 1 (67). С. 4–7.
4. 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.
5. 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.
6. 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. 235–23.

Сведения об авторах

Ломакин Михаил Иванович: д.т.н., д.э.н., проф., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), гл. н. с. института.
Москва, Россия.
SPIN-код: 4943-3724.

Докукин Александр Владимирович: д.э.н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), гл. н.с. науч.-исслед. центра.
Москва, Россия.
SPIN-код: 6402-0280.

Мошков Владимир Борисович: к.э.н., доц., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), зам. начальника института.
Москва, Россия.
SPIN-код: 7792-2243.

Олтян Ирина Юрьевна: к. т. н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), ученый секретарь института.
Москва, Россия.
SPIN-код: 3476-5213.

Ниязова Юлия Михайловна: к.э.н., ФГБУ ВПО МИИГАиК, доцент.
Москва, Россия.
SPIN-код: 9558-1820.

Information about authors

Lomakin Mikhail I.: ScD (Technical Sc., Economic Sc.), Professor, VNII GOChS (FC), Chief Researcher of the Institute.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 4943-3724.

Dokukin Aleksandr V.: ScD (Economic Sc.), VNII GOChS (FC) Chief Researcher, Researcher Center.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 6402-0280.

Moshkov Vladimir B.: PhD (Economic Sc.), Assistant Professor, VNII GOChS (FC), Deputy Head of the Institute.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 7792-2243.

Oltyan Irina Yu.: PhD (Technical Sc.), VNII GOChS (FC), Scientific Secretary of the Institute.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 3476-5213.

Niyazova Julia M.: PhD (Economic Sc.), Moscow State University of Geodesy and Cartography, Assistant Professor.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 9558-1820.