

Модель ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Часть 1

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.2.76

© Технологии гражданской безопасности, 2023

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

Аннотация

Рассматривается задача ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; предложена модель ранжирования чрезвычайных ситуаций на основе информации об оцениваемых параметрах чрезвычайных ситуаций. Модель базируется на принципе доминирования и учитывает случайность оцениваемых параметров чрезвычайных ситуаций. Приведено соотношение для определения вероятности стохастического доминирования одной чрезвычайной ситуации над другой; рассмотрен пример ранжирования чрезвычайных ситуаций природного характера при условии, что оцениваемые параметры распределены в соответствии с нормальным законом.

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

Model for Ranking Natural and Man-Made Emergencies. Part 1

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2023.20.2.76

© Civil Security Technology, 2023

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

Abstract

The problem of ranking emergencies of natural and man-made nature is considered; ranking emergencies model based on information about the estimated parameters of emergencies is proposed. The model is based on the principle of dominance and takes into account the randomness of the estimated parameters of emergencies. The ratio is given to determine the probability of stochastic dominance of one emergency over another; an example of ranking natural emergencies is considered, provided that the estimated parameters are distributed in accordance with the normal law.

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

13.04.2023

Введение

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (в ред. постановлений Правительства РФ от 17.05.2011 № 376, от 20.12.2019 № 1743) [1], основными оцениваемыми параметрами ЧС природного и техногенного характера (далее — оцениваемые параметры), пороговые значения которых являются критериями их классификации, согласно вышесказанному постановлению Правительства РФ являются:

- размеры (границы) зоны ЧС;
- количество людей, погибших и (или) получивших ущерб здоровью;
- размер материального ущерба.

В национальных стандартах [2–4] определены основные источники ЧС природного, техногенного и биолого-социального характера. Каждая ЧС — это сложное и уникальное явление, требующее анализа и выработки рекомендаций по ее недопущению и минимизации возможных от нее потерь. Важной задачей анализа ЧС является задача ранжирования ЧС по оцениваемым параметрам.

Одной из последних работ, в которой решается задача ранжирования ЧС, является статья В. А. Акимова, И. Ю. Олтян, Е. О. Ивановой [5]. В этой статье ранжирование ЧС авторы проводят на основе коэффициента катастрофичности КК. Этот коэффициент авторами определен как «сумма первых трех мест К1, К2 и К3 типов ЧС по количеству погибших и (или) пострадавших в них людей к количеству анализируемых лет К». С учетом весов ранга (места) типа ЧС коэффициент катастрофичности КК изменяется от 0 (наименьшая катастрофичность) до 3 (наибольшая катастрофичность). Таким образом,

$$КК = (3 * K1 + 2 * K2 + 1 * K3) / K.$$

Достоинством предложенной в статье [5] модели ранжирования ЧС является простота ее реализации.

В настоящей статье предлагается иная модель ранжирования ЧС на основе имеющейся информации об ее оцениваемых параметрах; модель базируется на принципе доминирования и учитывает случайность оцениваемых параметров ЧС.

Основные результаты

Пусть имеется множество ЧС, $i = \overline{1, n}$, например, техногенного характера, характеризуемых множеством одинаковых, но разных по величинам оцениваемых параметров $X_{ij}, j = \overline{1, m}$, т.е. каждая i -ая ЧС может быть охарактеризована матрицей оцениваемых 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 оцениваемых параметров i -ой ЧС;

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

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

Ранжирование ЧС будем проводить по уровню доминирования. Под «доминированием q -ой ЧС над u -ой ЧС» будем понимать такую ситуацию, когда q -ая ЧС не уступает u -ой ЧС ни по одному показателю и хотя бы по одному из оцениваемых показателей превосходит параметры для всех $q \neq u$. Исходные значения оцениваемых показателей ЧС рассматриваем как выборки из некоторого распределения, следовательно, сравнивать ЧС можно только в стохастическом смысле. Под «стохастическим доминированием q -ой ЧС над u -ой ЧС» будем понимать такую ситуацию, когда вероятность того, что оцениваемые параметры q -ой ЧС не меньше оцениваемых параметров u -ой ЧС для всех $q \neq u$, больше вероятности того, что оцениваемые параметры u -ой ЧС не меньше оцениваемых параметров q -ой ЧС для всех $q \neq u$, т.е. когда выполняется следующее условие:

$$P\left(\bigcap_{l=1}^m (X_{ql} \geq X_{ul})\right) > P\left(\bigcap_{j=1}^m (X_{ul} \geq X_{ql})\right). \quad (2)$$

В данном выражении:

X_{ql}, X_{ul} — l -ые случайные оцениваемые параметры q -ой и u -ой ЧС, $l = \overline{1, m}$; $q(u) = \overline{1, n}$, представленные матрицами вида (1) MX_q, MX_u ;

$$\bigcap_{l=1}^m (X_{ql} \geq X_{ul}) —$$

оператор пересечения событий (множеств) $(X_{ql} \geq X_{ul})$, $l = \overline{1, m}$;

$$P\left(\bigcap_{j=1}^m (X_{ql} \geq X_{ul})\right) —$$

вероятность того, что оцениваемые параметры q -ой ЧС не меньше оцениваемых параметров u -ой ЧС для всех $q \neq u$;

$$P\left(\bigcap_{j=1}^m (X_{ul} \geq X_{ql})\right) —$$

вероятность того, что оцениваемые параметры u -ой ЧС не меньше оцениваемых параметров q -ой ЧС для всех $q \neq u$.

Полагая, что оцениваемые параметры ЧС являются независимыми случайными величинами, соотношение (2) можно переписать в следующем виде:

$$\prod_{l=1}^m P(X_{ql} \geq X_{ul}) > \prod_{l=1}^m P(X_{ul} \geq X_{ql}). \quad (3)$$

Рассмотрим случай, когда оцениваемые параметры ЧС распределены в соответствии с нормальным законом; при этом на основе имеющихся данных о ЧС определены соответствующие математические ожидания и дисперсии оцениваемых параметров (количество погибших и количество пострадавших) μ_{ql} ; D_{ql} ; μ_{ul} ; D_{ul} ; $l = \overline{1, m}$. Для нормального закона распределения вероятность того, что оцениваемые параметры q -ой ЧС не меньше оцениваемых параметров u -ой ЧС для всех $q \neq u$ определяется следующим соотношением [6]:

$$P_{qu} = P\left(\bigcap_{l=1}^m (X_{ql} \geq X_{ul})\right) = \prod_{l=1}^m \left(0,5 + \Phi\left(\frac{\mu_{ql} - \mu_{ul}}{\sqrt{D_{ql} + D_{ul}}}\right)\right). \quad (4)$$

Здесь $\Phi(y)$ — табулированная функция Лапласа [6].

Для наиболее часто используемых законов распределения параметров X_{ql} , X_{ul} соотношения для вероятности доминирования P_{qu} приведены в работах [7–10].

Соотношение (4) может быть использовано для ранжирования ЧС по оцениваемым параметрам.

Рассмотрим пример ранжирования ЧС природного характера по оцениваемым параметрам, приведенный в табл. 1 статьи [5].

Исходные данные по ЧС природного характера приведены в табл. 1.

Формируем матрицу стохастического доминирования ЧС следующего вида:

$$MSD = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1,n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где вероятность P_{ij} — вероятность доминирования i -ой ЧС над j -ой ЧС, определяемая в следующем виде:

Таблица 1

Исходные данные по ЧС природного характера

№ п/п	Типы ЧС природного характера	Год – погибло/пострадало			Погибло мат. ожидание/ дисперсия	Пострадало мат. ожидание/ дисперсия
1	Опасные гидрологические явления	2010	18	27	22,000 32,000	55236,750 140656071,329
		2011	0	21984		
		2012	0	15029		
		2013	0	181279		
		2014	0	6937		
		2016	0	47224		
		2018	0	52177		
		2019	26	117237		
2	Сильный дождь или снегопад	2012	177	54231	28,286 632,092	42134,714 41443988,302
		2013	0	12423		
		2014	3	118562		
		2015	1	8989		
		2016	3	78818		
		2017	6	20468		
		2018	8	1452		
3	Бури, смерчи, ураганы	2011	1	5	4,400 1,533	898,800 241379,905
		2014	8	2649		
		2015	1	1229		
		2016	0	383		
		2017	12	228		
4	Крупные природные пожары	2010	9	856	12,000 60125	1607,800 1453108,793
		2011	1	1		
		2012	8	13		
		2015	41	6154		
		2019	1	1015		
5	Снежные лавины	2010	10	8	7,500 0,944	7,250 0,236
		2013	6	6		
		2017	7	8		
		2019	7	7		
6	Отрыв прибрежных льдов	2018	0	8	0,000 0,000	8,000 0,000

$$P_{ij} = \left(0,5 + \Phi\left(\frac{\mu_{i1} - \mu_{j1}}{\sqrt{D_{i1} + D_{j1}}}\right)\right) \cdot \left(0,5 + \Phi\left(\frac{\mu_{i2} - \mu_{j2}}{\sqrt{D_{i2} + D_{j2}}}\right)\right), \quad (6)$$

при этом $P_{ij} = 1$, если $I = j$.

Выполнив соответствующие расчеты, получаем следующую матрицу стохастического доминирования:

$$MSD = \begin{pmatrix} 1,00E+00 & 2,02E-01 & 5,00E-01 & 4,26E-01 & 4,97E-01 & 5,00E-01 \\ 4,36E-01 & 1,00E+00 & 5,00E-01 & 4,99E-01 & 5,00E-01 & 5,00E-01 \\ 5,93E-04 & 8,56E-02 & 1,00E+00 & 8,32E-02 & 1,23E-02 & 5,01E-01 \\ 7,43E-02 & 1,34E-01 & 4,17E-01 & 1,00E+00 & 3,59E-01 & 4,70E-01 \\ 2,88E-03 & 1,02E-01 & 4,86E-01 & 1,41E-01 & 1,00E+00 & 7,45E-04 \\ 2,51E-05 & 6,51E-02 & 9,45E-05 & 4,26E-01 & 5,93E-15 & 1,00E+00 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Перемножаем элементы матрицы доминирования в каждой строке, получаем итоговый результат ранжирования ЧС природного характера по оцениваемым параметрам (табл. 2).

Полученные результаты ранжирования ЧС природного характера отличаются от результатов работы [5], совпадают только два результата ранжирования. ЧС, связанные со снежными лавинами и отрывом прибрежных льдов, которые остались, соответственно, на 5 и 6 местах согласно ранжированию в статье [5] и на тех же позициях в настоящей статье.

Следует отметить, что в приведенном примере, предполагалось, что распределение оцениваемых параметров является нормальным, однако это утверждение проверить на основе имеющихся данных не представляется возможным вследствие ограниченного объема выборок оцениваемых параметров ЧС. Рассмотрению случая, когда исходное распределение оцениваемых параметров неизвестно и не может быть

идентифицировано по ограниченным выборкам оцениваемых параметров, предполагается посвятить вторую часть этой статьи.

Таблица 2

Итоговый результат ранжирования ЧС

Типы ЧС природного характера	Обозначение	Вероятность доминирования	Ранг
Опасные гидрологические явления	RR =	1,07E-02	2
Сильный дождь или снегопад		2,73E-02	1
Бури, смерчи, ураганы		2,59E-08	4
Крупные природные пожары		7,00E-04	3
Снежные лавины		1,50E-08	5
Отрыв прибрежных льдов		2,79E-26	6

Заключение

Таким образом, в настоящей статье предложена модель ранжирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по оцениваемым параметрам. Ранжирование ЧС проводится на основе стохастического доминирования; при этом исходные значения оцениваемых показателей ЧС рассматриваются как выборки из некоторого распределения. Определяется вероятность доминирования одной ЧС над другой как вероятность того, что оцениваемые параметры одной ЧС не меньше оцениваемых параметров другой ЧС. Рассмотрен случай, когда оцениваемые параметры ЧС распределены в соответствии с нормальным законом; для конкретных исходных данных по ЧС природного характера найдены вероятности доминирования ЧС и определены их ранги.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (в ред. постановлений Правительства РФ от 17.05.2011 № 376, от 20.12.2019 № 1743) // Портал Правительства России. URL: <http://government.ru/docs/all/59949/> (дата обращения: 20.03.2023).
2. ГОСТ Р 22.0.03-2020 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения». М.: Стандартиформ, 2020. 17 с.
3. ГОСТ Р 22.0.04-2020 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации. Термины и определения». М.: Стандартиформ, 2020. 7 с.
4. ГОСТ Р 22.0.05-2020 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения». М.: Стандартиформ, 2020. 14 с.
5. 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.
6. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.
7. Острейковский В. А. Многофакторные испытания на надежность. М.: Энергия, 1978. 152 с.
8. 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.
9. Ломакин М. И., Сухов А. В. Оценка показателей качества, описываемых моделью «нагрузка–прочность» // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2018. № 4 (44). С. 22.
10. Эффективность технических систем / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. 328 с.

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.

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, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Chief Researcher of the Institute.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 4943-3724.

Dokukin Aleksandr V.: ScD (Economic Sc.), All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Chief Researcher, Researcher Center.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 6402-0280.

Moshkov Vladimir B.: PhD (Economic Sc.), Assistant Professor, All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Deputy Head of the Institute.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 7792-2243.

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

Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
Батырев В.В. и др. Оценка эффективности и качества фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания населения в чрезвычайных ситуациях.	https://elibrary.ru/item.asp?id=29741192
Талмач М.С. и др. Учебное пособие по дисциплине «Экстремальная психология» для курсантов МЧС России.	https://elibrary.ru/item.asp?id=29853968
Фалеев М.И. и др. Экономические механизмы ресурсного обеспечения мероприятий по защите населения и территорий от угроз военного, природного и техногенного характера.	https://elibrary.ru/item.asp?id=29860580
Акимов В.А. Междисциплинарные исследования проблем безопасности.	https://elibrary.ru/item.asp?id=32369931
Артамонов В.С. и др. Историческая пожарно-спасательная энциклопедия.	https://elibrary.ru/item.asp?id=32288725
Фалеев М.И. и др. Управление рисками техногенных и природных чрезвычайных ситуаций (пособие для руководителей муниципальных образований).	https://elibrary.ru/item.asp?id=32726150
Сломянский В.П. и др. Комментарий к Федеральному закону от 12 февраля 1998 года № 28-ФЗ «О гражданской обороне».	https://elibrary.ru/item.asp?id=30601349
Мошков В.Б. и др. Тенденции развития пожарно-спасательной отрасли. Фотокнига.	https://elibrary.ru/item.asp?id=32458165
Пучков В.А. Настольная книга руководителя гражданской обороны. Изд. 5-е, актуализ. и дополн.	https://elibrary.ru/item.asp?id=32712123
Глебов В.Ю. и др. Научно-практический комментарий к федеральному закону от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Издание 2-е, переработанное и дополненное.	https://elibrary.ru/item.asp?id=30601450
Сосунов И.В. и др. Проблемы защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях в условиях современных вызовов и угроз. Справочное пособие.	https://elibrary.ru/item.asp?id=34969240
Батырев В.В. и др. Основы индивидуальной защиты человека от опасных химических и радиоактивных веществ. Монография	http://elibrary.ru/item.asp?id=25637877
Артамонов В.С. и др. Гражданская оборона. Учебник.	http://elibrary.ru/item.asp?id=26496217
Акимов В.А. и др. Защита населения и территорий Российской Федерации в условиях изменения климата.	http://elibrary.ru/item.asp?id=26013124