Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 6 (134). С. 137-146. ISSN 1998-8443 (print)
Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2021. Issue 6 (134). P. 137-146. ISSN 1998-8443 (print)

Научная статья

УДК 623.459:614.75 (075.8)

doi: 10.17122/ntj-oil-2021-6-137-146

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ПРИ АВАРИЯХ С ВЫБРОСОМ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Анатолий Александрович Александров¹, Валерий Иванович Ларионов²,
Сергей Петрович Суцев³

^{1, 2, 3}Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), Москва, Россия

¹bauman@bmstu.ru

²lar@esrc.ru

³esrc@esrc.ru

Автор, ответственный за переписку: Валерий Иванович Ларионов, lar@esrc.ru

Аннотация. Количество опасностей, обусловленных промышленной деятельностью человека, неуклонно увеличивается, о чем свидетельствует ряд крупных техногенных катастроф, произошедших за последние годы на потенциально опасных объектах. Эти аварии сопровождались пожарами, взрывами и выбросами опасных веществ. Некоторые из них привели к гибели людей. Важным элементом обеспечения промышленной безопасности и предупреждения аварий на опасных объектах, в том числе на химически опасных, является анализ риска, который предполагает построение возможных сценариев производственных аварий и получение количественных оценок потенциальной опасности объектов и рекомендаций по ее снижению путем реализации соответ-

ствующих правовых, организационных и инженерно-технических мероприятий. Однако существующая нормативно-методическая база в области анализа риска при авариях выбросом опасных химических веществ требует пересмотра и доработки.

В статье показаны основные направления совершенствования нормативно-методической базы при авариях выбросом опасных химических веществ. Предложенные методы использованы при разработке алгоритмов и программных средств систем поддержки принятия решений в условиях химических аварий, технологий проектирования автоматизированных информационно-управляющих систем разного уровня на основе комплексного применения технологий геоинформационных и экспертных систем.

Ключевые слова: химически опасный объект, опасное химическое вещество, химическая авария, токсическое поражение, токсодоза, геоинформационные системы, экспертные системы

Благодарности: Работа, результаты которой использованы в данной статье, выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-087 от 18.12.2019.

Для цитирования: Александров А. А., Ларионов В. И., Суцев С. П. Методические особенности анализа риска для населения и территорий при авариях с выбросом опасных химических веществ // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. Вып. 6 (134), С. 137-146. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-6-137-146>.

Original article

METHODOLOGICAL FEATURES OF RISK ASSESSMENT FOR POPULATION AND TERRITORIES IN ACCIDENTS WITH HAZARDOUS CHEMICALS RELEASE

Anatoliy A. Aleksandrov¹, Valeriy I. Larionov², Sergey P. Sushchev³

^{1, 2, 3}Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

¹bauman@bmstu.ru

²lar@esrc.ru

³esrc@esrc.ru

Corresponding author: Valeriy I. Larionov, lar@esrc.ru

Abstract. The number of hazards caused by human industrial activity is inevitably increasing. It has been shown by several major man-made disasters that occurred in recent years on potentially hazardous facilities. Such accidents were accompanied by fires, explosions, and hazardous substances releases. Some of them caused fatalities. The key element of ensuring industrial safety and preventing accidents at hazardous facilities (including chemically hazardous facilities) is risk assessment. It involves

covering up possible scenarios for industrial accidents and getting quantitative assessments of potential hazards on facilities and recommendations for its reduction via the implementation of relevant legal, organizational, and engineering measures. However, the existing regulatory and procedural base on risk assessment for accidents with hazardous chemical emissions requires revision and adjustments.

The article covers main directions on improving the regulatory and procedural base for accidents with hazardous chemical emissions. The proposed methods are used in development of algorithms and software tools for deci-

sion support systems in chemical accidents, and technologies for creation of automated management information systems of different levels based on multiple use of geoinformation and expert systems.

Keywords: chemically hazardous facility, hazardous chemical, chemical accident, toxic damage, toxic dose, geoinformation systems, expert systems

---

Acknowledgments: The work was carried out at the Moscow State Technical University. N. E. Bauman with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement No. 075-11-2019-087 of 12/18/2019).

For citation: Aleksandrov A. A., Larionov V. I., Sushchev S. P. Metodicheskiye osobennosti analiza riska dlya naseleniya i territoriy pri avariyaх s vybrosom opasnykh khimicheskikh veshchestv. [Methodological Features of Risk Assessment for Population and Territories in Accidents with hazardous Chemicals Release]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2021, Issue 6 (134), pp. 137-146. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2021-6-137-146>.

Введение

В Российской Федерации функционируют несколько тысяч потенциально опасных объектов. Аварии на них являются объективными процессами, о чем свидетельствует статистическая информация. Так, по данным МЧС России, в 2020 году произошло 167 чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера, в которых погибли 322 человека. Наибольшую опасность представляют аварии объектах, где обращаются опасные химические вещества, аварийное высвобождение которых представляет значительную угрозу не только для персонала предприятия, но и для населения. Основные причины подобных аварий связаны со значительным износом оборудования и ошибками персонала, а также недостаточным уровнем внедрения новых высокоэффективных и безопасных техноло-

гий. На современном этапе необходимо использовать научно-обоснованные подходы к обеспечению безопасности химически опасных объектов, расширять исследования в области анализа риска при авариях с выбросом опасных химических веществ [1, 2]. Совершенствование нормативно-методической базы рекомендуется проводить в следующих направлениях [3].

1. Создание комплекса методик, характеризующих отдельные процессы возникновения и развития аварий.

2. Разработка и внедрение систем сбора и анализа информации, необходимой для анализа риска.

3. Уточнение алгоритмов моделирования разливов жидкостей при разгерметизации оборудования.

4. Разработка алгоритмов моделирования внешних воздействий, в том числе с

учетом статистических данных метеонаблюдений.

Общие положения

Особую опасность для населения и территорий представляют производственные аварии с выбросом опасных химических веществ. Такие вещества называют аварийно химически опасными веществами (АХОВ). Наиболее часто применяются следующие АХОВ: аммиак, хлор, цианистый водород (синильная кислота). Газообразные химические вещества, как правило, хранятся в стальных емкостях в сжиженном состоянии под давлением собственных паров (600-1200 кПа) и в цеха подаются по трубопроводам. При нарушении технологических процессов на производстве, повреждении трубопроводов, емкостей, хранилищ, транспортных средств может произойти аварийный выброс (разлив) АХОВ, что может привести к заражению окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях. Основным поражающим фактором при этом является токсическое воздействие опасных химических веществ. Выделяют следующие пути проникновения токсических веществ в организм человека: ингаляционный (органы дыхания), кожно-резорбтивный (кожные покровы и слизистые оболочки), пероральный (желудочно-кишечный тракт). В случае внезапного аварийного выброса практически все АХОВ переходят в парообразное или аэрозольное состояние и проникают в организм ингаляционным путем. Опасность АХОВ характеризуется токсичностью, свойством вещества вызывать патологические изменения в организме, которые приводят к потере работоспособности

или гибели человека. Количественными показателями токсичности АХОВ являются:

- концентрация – количество химического вещества в единице объема (мг/м^3 , мг/л , ppm^1);
- токсическая доза (токсодоза) – количество вещества, при попадании которого в организм человека возникает определенный токсический эффект ($\text{мг} \cdot \text{мин/м}^3$, $\text{мг} \cdot \text{мин/л}$). При этом учитывается время экспозиции (время накопления токсодозы).

При нормировании воздействия АХОВ на окружающую среду используют *предельно допустимую концентрацию* (ПДК), превышение которой угрожает здоровью человека. ПДК – концентрация, при воздействии которой на организм человека в течение его жизни не возникает заболеваний. Важное значение также имеет *средняя смертельная концентрация* (CL_{50}) – концентрация, вызывающая летальный исход у 50 % пораженных при ингаляционном воздействии.

Вероятность токсического поражения

Концентрация $C(x, y, t)$ опасного вещества в атмосфере в точке с координатами (x, y) в момент времени t может быть определена по методикам оценки последствий химических аварий [1, 2].

В методике «Токси» рассматриваются 4 сценария разрушения оборудования с газом или жидкой фазой [1]:

- мгновенное разрушение емкости;
- образование отверстия в стенке емкости;
- разгерметизация трубопровода, присоединенного к емкости;
- разгерметизация трубопровода, присоединенного к компрессору.

---

¹ ppm (от англ. *parts per million* – частей на миллион) – единица измерения концентраций и других относительных величин, по смыслу аналогична проценту, представляет собой одну миллионную долю ($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$). Для массовых концентраций $1 \text{ ppm} = 1 \text{ мг/кг}$ (т. е. на каждый килограмм воздушной смеси приходится 1 мг опасного химического вещества).

Токсодоза в точке (x, y) определяется путем интегрирования концентрации по времени:

$$D(x, y) = \int_0^t C(x, y, t) dt, \quad (1)$$

где t – время экспозиции (время действия опасной концентрации).

Для оценки воздействия на организм человека принимают следующие уровни токсодозы (таблица 1):

PC_{50} – средняя пороговая токсодоза (50 % пораженных получают ощутимый эффект, но сохраняют работоспособность).

LC_{50} – средняя смертельная токсодоза (гибель 50 % пораженных).

Границы зон токсического поражения опасным веществом устанавливают по смертельной и пороговой токсодозам при ингаляционном воздействии на организм человека. Сравнивая токсодозы, определенные по формуле (1), с пороговыми и смертельными токсодозами (см. таблицу 1), определяют расстояния от источника аварии, соответствующие пороговому воздействию и смертельному поражению.

Токсическое поражение человека зависит от многих факторов: от типа вещества, объема и продолжительности выброса при аварии; от метеоусловий во время выброса, времени существования вещества в атмосфере; от места нахождения человека в момент аварии и пр.

Вероятность $P[D(x, y)]$ смертельного поражения человека в результате получения токсической нагрузки в точке с координатами (x, y) можно оценить с помощью пробит-функции:

$$Pr(x, y) = a + b \ln \bar{D}(x, y), \quad (2)$$

параметром которой, характеризующим интенсивность воздействия поражающего фактора, является накопленная в организме человека ингаляционная токсодоза; значение этой величины в точке (x, y) определяется выражением

$$\bar{D}(x, y) = [\bar{C}(x, y)]^n t, \quad (3)$$

где $\bar{C}(x, y) = D(x, y)/t$ – среднее значение концентрации опасного вещества в атмосфере при длительности t его воздействия на организм человека.

Коэффициенты пробит-функции a , b , а также показатель степени n зависят от вида и свойств АХОВ и определяются по справочной литературе [5]. Примеры пробит-функций для некоторых химических веществ приведены в таблице 2 [5].

Вероятность $P[D(x, y)]$ смертельного поражения людей в точке (x, y) опасными концентрациями АХОВ при известном времени воздействия определяется по таблице 3 в зависимости от значения соответствующей пробит-функции [6].

Таблица 3 содержит значения пробит-функции Pr , рассчитанные с точностью до второго знака, по которым принимается вероятность поражения (разрушения) от 0 до 0,999. Например, значению $Pr = 5,05$, стоящему на пересечении строки с числом 0,5 (слева) и столбца с числом 0,02 (сверху), соответствует условная вероятность $P = 0,5 + 0,02 = 0,52$.

В случае, когда значение $Pr > 7,33$, P вычисляется следующим образом: допустим $Pr = 7,58$, тогда $P = 0,99 + 0,005 = 0,995$ (значение первого слагаемого всегда будет 0,99, а второго выбирается по последней строке).

Найти значение P при отсутствии в таблице необходимых значений Pr можно, например, с помощью линейной интерполяции между данными таблицы 3 или с использованием интегральной функции Гаусса (функции ошибок):

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (4)$$

Таблица 1. Токсические свойства АХОВ

Table 1. Toxic properties of hazardous chemicals

Вещество	LC_{50} , мг/м ³	PC_{t50} , мг·мин/л	LC_{t50} , мг·мин/л
Аммиак	6164	15	150
Хлор	1017	0,6	6
Цианистый водород	114	0,2	6

Таблица 2. Пробит-функции для определения вероятности летального поражения человека при токсическом воздействии

Table 2. Probit functions to determine the mortality prediction in humans with toxic exposure

Химическое вещество	Пробит-функция	
	$\bar{C}$, ppm	$\bar{C}$, мг/м ³
Аммиак	$Pr = -35,9 + 1,85 \ln(\bar{C}^2 t)$	$Pr = -15,8 + \ln(\bar{C}^2 t)$
Хлор	$Pr = -8,29 + 0,92 \ln(\bar{C}^2 t)$	$Pr = -8,29 + \ln(\bar{C}^{2,3} t)$
Цианистый водород	$Pr = -9,56 + \ln(\bar{C}^{2,4} t)$	$Pr = -9,8 + \ln(\bar{C}^{2,4} t)$

Примечания.

- $\bar{C}$ – средняя концентрация опасного вещества в атмосфере;
 t – время действия опасной концентрации на организм человека.
- Связь между концентрациями в ppm и мг/м³ устанавливается соотношением

$$C_{\text{ppm}} = \frac{10^3 R T}{p M_0} C_{\text{мг/м}^3},$$

где R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К) ($R = 8,31$ Дж/(моль · К));

T – абсолютная температура, К;

p – давление, Па;

M_0 – молекулярная масса АХОВ, г/моль.

Таблица 3. Значения условной вероятности разрушения зданий (поражения людей) в зависимости от величины пробит-функции

Table 3. Values of conditional probability of human involvement according to the probit function value

P	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	—	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
0,1	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
0,2	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
0,3	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
0,4	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
0,5	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
0,6	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
0,7	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
0,8	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
0,9	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
0,99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09
P	0	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009

Оценка риска на химически опасных объектах

При определении ожидаемых потерь рассматривают два расчетных случая:

случай 1 – когда интенсивность поражающего фактора рассчитывается по факту возникновения ЧС,

случай 2 – когда воздействие рассматривается в виде вероятностной модели. Оценка риска проводится для случая 2.

По факту ЧС при известной токсодозе D в пределах площадки с координатами (x, y) (*случай 1*) математическое ожидание потерь среди населения определяется по формуле

$$M(N) = \iint_S P[D(x, y)] \psi(x, y) dx dy, \quad (5)$$

где $P[D(x, y)]$ – вероятность поражения людей при воздействии токсодозы на площадке с координатами (x, y) , рассчитанной по фактическому сценарию аварии;

$\psi(x, y)$ — плотность размещения людей на площадке;

S – площадь части объекта (территории), в пределах которой возможно поражение людей при аварии.

При заблаговременном определении математического ожидания потерь (*случай 2*) следует учитывать изменчивость направления α и скорости v ветра (розу ветров):

$$M(N) = \iint_S \int_0^{2\pi} \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} P[D(x, y)] f(\alpha, v) \psi(x, y) dv d\alpha dx dy, \quad (6)$$

где $f(\alpha, v)$ – функция плотности распределения направления α и скорости v ветра;

$v_{\min}$ и $v_{\max}$ – минимально и максимально возможные значения скорости ветра.

Вероятность $P[D(x, y)]$ смертельного поражения человека на площадке с координатами (x, y) может быть определена в зависимости от пробит-функции с учетом концентрации опасного вещества в атмосфере и длительности действия его на организм.

Расчет по формуле (6) выполняется для всех возможных сценариев аварии, в качестве ожидаемых потерь в результате получения токсической нагрузки принимается максимальное значение.

Потенциальный территориальный риск, характеризующий частоту λ реализации в рассматриваемой точке (x, y) территории токсодозы, приводящей к гибели человека:

$$R_{\Pi}(x, y) = \lambda \int_0^{2\pi} \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} P[D(x, y)] f(\alpha, v) dv d\alpha. \quad (7)$$

Соединяя точки с равными показателями риска, получают зоны разной степени опасного воздействия токсодозы на человека [7].

Коллективный и индивидуальный риски поражения людей при авариях на химически опасных объектах рассчитывают с учетом математического ожидания потерь (6)

$$R_{\text{кол}} = \lambda M(N); R_{\text{инд}} = R_{\text{кол}} / N_0, \quad (8)$$

где N_0 – численность людей в зоне риска.

Выводы

Сложность и многогранность сценариев химических аварий предполагает математическое моделирование многомерных нестационарных процессов, что требует значительных вычислительных ресурсов. То есть возникает необходимость в разработке оптимальных алгоритмов и быстродействующих программных средств, а также разработки и внедрения высокопроизводительных компьютерных систем поддержки принятия решений на основе оценки и управления риском.

С развитием математического моделирования и вычислительных технологий стало возможным совершенствование методической базы в области анализа риска, поскольку появились широкие возможности использования ГИС-технологий, технологий экспертных систем, систем управления базами данных и пр. для сбора, хранения, обработки и анализа информации, необходимой для проведения анализа риска.

С использованием приведенного в статье методического подхода анализа риска при авариях с выбросом опасных химических веществ в МГТУ им. Н.Э. Баумана разрабатывается экспертная система поддержки принятия решений, которая включает в себя базы данных (в том числе базу данных по направлениям и скоростям ветра в пределах территории), набор правил для принятия решений, подсистему аналитической отчетности и т.д.

Список источников

1. Александров А.А., Ларионов В.И., Сушчев С.П. Анализ и управление техногенными и природными рисками. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 357 с.
2. Совершенствование системы нормативно-правового и экономического управления рисками и безопасностью // Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты: в кн. М.: Знание, 2008. С. 216-245.
3. Математические модели, инженерные методики и компьютерные коды для анализа и обоснования безопасности сложных технических систем // Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты: в кн. М.: Знание, 2008. С. 157-161.
4. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси». Редакция 2.2) // Безопасность России. Анализ риска и проблем безопасности: В 4 Ч. Научно-методическая база анализа риска и безопасности: в кн. М.: Знание, 2007. Ч. 4. С. 325-408.
5. Риски и безопасность химического комплекса // Безопасность России. Анализ риска и проблем безопасности: В 4 Ч. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление рисками: в кн. М.: Знание, 2006. Ч. 2. С. 309-328.
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404) // Сборник нормативно-правовых и методических документов, применяемых в области обеспечения пожарной безопасности: В 2 Ч. М.: Типография Полимаг, 2010. Ч. 2. С. 533-572.
7. Методика комплексной оценки индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Сборник методических документов, применяемых для независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: В 2 Ч. М.: Типография Полимаг, 2008. Ч. 1. С. 122-145.

References

1. Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. *Analiz i upravlenie tekhnogennymi i prirodnymi riskami* [Analysis and Management of Man-Made and Natural Risks]. Moscow, MG TU im. N.E. Bauman Publ., 2019. 357 p. [in Russian].
2. Sovershenstvovanie sistemy normativno-pravovogo i ekonomicheskogo upravleniya riskami i bezopasnost'yu [Improving the Regulatory and Economic Risk and Safety Management System]. *V knige «Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty»* [In the Book «Security of Russia. Legal, Socio-Economic and Scientific and Technical Aspects»]. Moscow, Znanie Publ., 2008, pp. 216-245. [in Russian].
3. Matematicheskie modeli, inzhenernye metodiki i komp'yuternye kody dlya analiza i obosnovaniya bezopasnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Mathematical Models, Engineering Techniques and Computer Codes for the Analysis and Justification of the Safety of Complex Technical Systems]. *V knige «Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty»* [In the Book «Security of Russia. Legal, Socio-Economic and Scientific and Technical Aspects»]. Moscow, Znanie Publ., 2008, pp. 157-161. [in Russian].
4. Metodika otsenki posledstviy khimicheskikh avarii (Metodika «Toksi». Redaktsiya 2.2) [Methodology for Assessing the Consequences of Chemical Accidents (Methodology «Toxi». Edition 2.2)]. *V knige «Bezopasnost' Rossii. Analiz riska i problem bezopasnosti: V 4 Ch. Nauchno-metodicheskaya baza analiza riska i bezopasnosti»* [In the Book «Security of Russia. Analysis of Risk and Security Issues: In 4 Parts. Scientific and Methodological Basis for Risk and Safety Analysis»]. Moscow, Znanie Publ., 2007, Part 4, pp. 325-408. [in Russian].
5. Riski i bezopasnost' khimicheskogo kompleksa [Risks and Safety of the Chemical Complex]. *V knige «Bezopasnost' Rossii. Analiz riska i problem bezopasnosti: V 4 Ch. Bezopasnost' grazhdanskogo i oboronnogo kompleksov i upravlenie riskami»* [In the Book «Security of Russia. Analysis of Risk and Security Issues: In 4 Parts. Security of Civil and Defense Complexes and Risk Management»]. Moscow, Znanie Publ., 2006, Part 2, pp. 309-328. [in Russian].
6. Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozhnarogo riska na proizvodstvennykh ob"ektakh (utv. prikazom MChS Rossii ot 10.07.2009 № 404) [Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk at Production Facilities (Approved by Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia of July 10, 2009 No. 404)]. *Sbornik normativno-pravovykh i metodicheskikh dokumentov, primenyaemykh v oblasti obespecheniya pozhnaroi bezopasnosti: V 2 Ch.* [Collection of Regulatory and Methodological Documents Used in the Field of Fire Safety: In 2 Parts]. Moscow, Tipografiya Polimag Publ., 2010, Part 2, pp. 533-572. [in Russian].
7. Metodika kompleksnoi otsenki individual'nogo

riska chrezvychainykh situatsii prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera [Methodology for a Comprehensive Assessment of the Individual Risk of Natural and Man-Made Emergencies]. *Sbornik metodicheskikh dokumentov, primenyaemykh dlya nezavisimoi otsenki riskov v oblasti pozharnoi bezopasnosti, grazhdanskoi oborony i zashchity naseleniya i territorii ot chrezvychainykh situatsii: V 2 Ch.* [A Collection of Methodological Documents Used for an Independent Risk Assessment in the Field of Fire Safety, Civil Defense and Protection of the Population and Territories from Emergencies: In 2 Parts]. Moscow, Tipografiya Polimag Publ., 2008, Part 1, pp. 122-145. [in Russian].

Информация об авторах

• Александров Анатолий Александрович, д-р техн. наук, профессор
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Президент, заведующий кафедрой «Экология и промышленная безопасность»
Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5
e-mail: bauman@bmstu.ru

Information about the authors

• Aleksandrov Anatoliy A., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Bauman Moscow State Technical University
President, Head of Ecology and Industrial Safety Department
5, Vtoraya Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russia
e-mail: bauman@bmstu.ru

• Ларионов Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Заместитель директора
Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций
Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5
e-mail: lar@esrc.ru

• Larionov Valeriy I., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Bauman Moscow State Technical University
Deputy Director of Scientific and Educational Center for Study of Extreme Situations
5, Vtoraya Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russia
e-mail: lar@esrc.ru

• Сущев Сергей Петрович, д-р техн. наук, профессор
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность»
Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5
e-mail: esrc@esrc.ru

• Sushchev Sergey P., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Bauman Moscow State Technical University
Professor of Ecology and Industrial Safety Department
5, Vtoraya Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russia
e-mail: esrc@esrc.ru

Статья поступила в редакцию 20.10.2021; одобрена после рецензирования 27.10.2021; принята к публикации 01.11.2021.

The article was submitted 20.10.2021; approved after reviewing 27.10.2021; accepted for publication 01.11.2021.