

УДК 614.841.2.001.2

Оценка температурного режима пожара по результатам инструментальных исследований

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.4.74

© Технологии гражданской безопасности, 2022

Д.Ю. Григорьев, Л.В. Краснова, Д.А. Вечтомов

Аннотация

В статье рассмотрено применение технологий искусственного интеллекта при расчете и прогнозировании показателей степени термического повреждения объектов на месте пожара при различных температурных режимах.

Ключевые слова: искусственный интеллект; нейронная сеть; экспертиза пожаров; степень термического повреждения.

Fire Temperature Regime Assessment Based on the Instrumental Studies Results

ISSN 1996-8493

DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.4.74

© Civil Security Technology, 2022

D. Grigoriev, L. Krasnova, D. Vechtomov

Abstract

The article considers the use of artificial intelligence technologies in calculating and predicting the degree of thermal damage to objects at the fire site under various temperature conditions of fires.

Key words: artificial intelligence; neural network; examination of fires; degree of thermal damage.

17.11.2022

Развитие техники и технологий неизбежно оказывает влияние на все сферы деятельности общества. В научной литературе отмечается тенденция «внедрения в результате влияния научно-технического прогресса математических методов... в следственную и экспертную практику для решения задач судопроизводства» [1]. Этот процесс можно считать ответом на усложнение технических и архитектурных решений объектов защиты, в результате которого к квалификации специалистов, занимающихся исследованием пожаров, предъявляются все более высокие требования.

Также отмечается рост востребованности со стороны органов правоприменения проведения «в отношении объектов пожаров анализа отклонений от нормативных требований в области пожарной безопасности, а также причинно-следственной связи данных отклонений с возникновением и развитием пожаров» [2]. Такой подход предполагает сравнение модели динамики нарастания опасных факторов пожара, мероприятия по защите от которых заложены в нормативную базу по пожарной безопасности, с динамикой пожара, происшедшего на объекте защиты.

В рамках разработки компьютерного комплекса, обеспечивающего выполнение задач, стоящих перед пожарно-техническим экспертом [3], справочный блок «Температурный режим и динамика горения в помещении и резервуарах с ЛВЖ (ГЖ)» предложен как составная часть специального справочного фонда.

Сказанное выше свидетельствует об актуальности решения задачи восстановления динамики опасных факторов пожара в ходе проведения исследования обстоятельств пожара пожарно-техническим экспертом.

Имеющиеся в настоящее время наработки в области исследования предметов и материалов, подвергшихся температурному воздействию [4], позволяют проводить исследование с применением инструментальных методов, что делает результаты исследования более объективными.

Методики экспертного исследования материалов после пожара позволяют установить степень термического повреждения конструкций, которая зависит от температуры и времени термического воздействия, как представлено в функции [1]:

$$S = f(T, \tau_a), \quad (1)$$

где:

T — температура, воздействующая на конструкцию; °С;

τ_a — время воздействия температуры на объект, мин;
 S — значение результатов измерения.

Такие методики инструментального исследования строятся путем изучения свойств материала при $T = \text{const}$ по зависимости (1).

В качестве примера можно привести магнитный метод исследования холоднодеформированных стальных изделий, который представлен в сборнике методических рекомендаций [4]. По магнитному методу проводится измерение величины тока размагничивания I_p (мА). Для проведения измерения рекомендуется применять коэрцитиметр КИМ-01ЭП или аналог. Магнитный метод имеет график зависимости значения тока размагничивания от времени теплового воздействия при постоянной температуре. Оригинальная иллюстрация графика магнитного метода [4] представлена на рис. 1

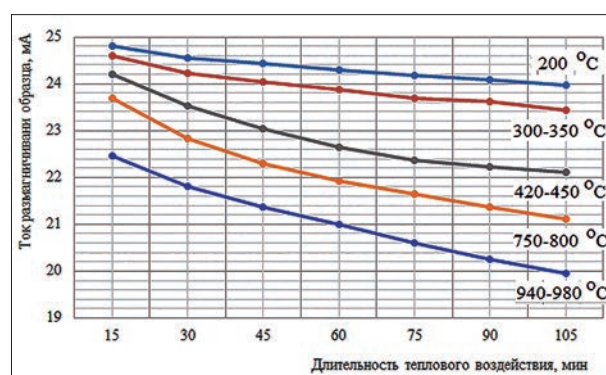


Рис. 1. График изменения величины тока размагничивания при нагреве гвоздей 100 мм в изотермических условиях (магнитный метод исследования) (приводится по [1])

Значения графика на рис. 1 представлены в виде табл. 1.

Вместе с тем, развитие пожара на объекте защиты происходит при относительно плавном нарастании и снижении температуры газовой среды и, соответственно, предметов и материалов, находящихся в помещении (рис. 2).

В таких условиях применение методик, построенных описанным выше способом, является хотя и информативным, однако не позволяет провести анализ динамики нарастания температуры.

Для того чтобы раскрыть динамику нарастания температуры, сформируем нейросеть, включающую:

Таблица 1

Значение величины тока размагничивания мА в зависимости от длительности воздействия температуры на образец

Температура, воздействующая на образец, °С		Значение величины тока размагничивания мА при длительности воздействия температуры, мин						
По [1]	Средняя*	15	30	45	60	75	90	105
200	200	24,8	24,54	24,44	24,3	24,17	24,08	23,96
300–350	325	24,6	24,23	24,03	23,87	23,7	23,62	23,43
420–450	435	24,2	23,52	23,03	22,64	22,37	22,22	22,11
750–800	775	23,68	22,82	22,3	21,92	21,65	21,36	21,11
940–980	960	22,45	21,8	21,37	21	20,6	20,25	19,94

* Приведена для целей настоящего исследования.

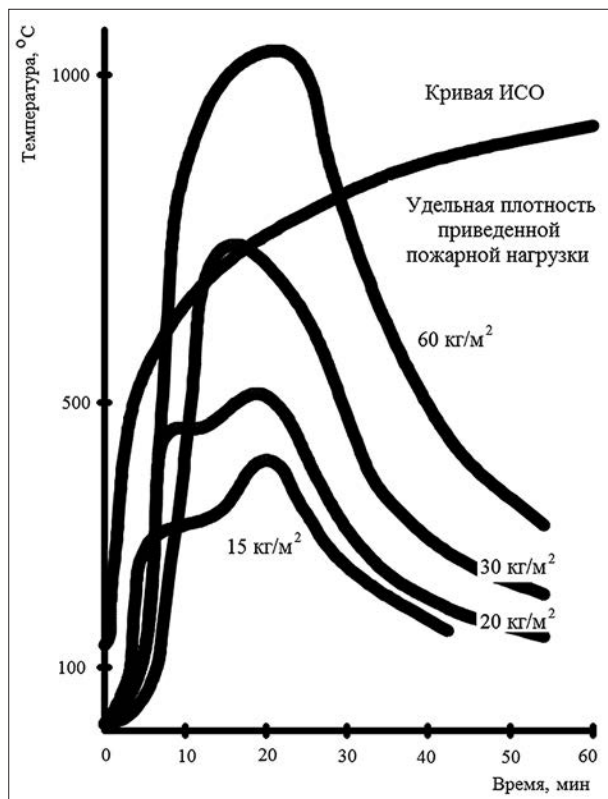


Рис. 2. Стандартная температурно-временная кривая пожара и ее сравнение с зависимостями среднеобъемной температуры газа от времени, полученными при четырех полномасштабных экспериментальных испытаниях, характеризующимися одинаковым коэффициентом проемности и различной удельной плотностью пожарной нагрузки (по ГОСТ Р 54081-2010 [5]).

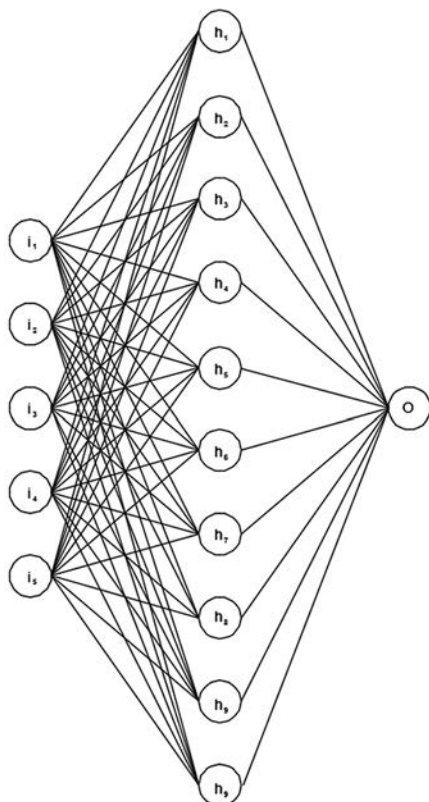


Рис. 3. Нейронная сеть для расчета величины тока размагничивания холоднодеформированных изделий после пожара с учетом нарастания температуры

один промежуточный слой, пять элементов входного слоя и один элемент в выходном слое (рис. 3).

Количество элементов входного слоя соответствует количеству температур, при которых была построена методика экспертного исследования. В приведенном примере методика построена путем исследования поведения материала при пяти температурах, приведенных в табл. 1. Обучающая выборка представлена в табл. 2.

На рис. 3 элементы $I_1 — I_5$ являются «нейронами» входного слоя, значение каждого из которых численно равно времени воздействия температур, при которых определены показатели свойства материала в методике исследования объектов после пожара. Для методики, представленной на рис. 1 и в табл. 1, такими температурами являются: 200 °C (I_1); 325 °C (I_2); 435 °C (I_3); 775 °C (I_4); 960 °C (I_5). Элементы h_1-h_{10} — «нейроны» промежуточного слоя, а элемент O — выходной результат.

Нормализация значений нейрона проводилась по зависимости:

$$i_n = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (2)$$

где:

i_n — безразмерное значение элемента;

x — время воздействия характерной температуры, мин;

x_{\min} — минимальное время воздействия температуры по методике (для методики на рис. 1 — 0 мин);

x_{\max} — максимальное время воздействия температуры по методике (для методики на рис. 1 — 105 мин).

По данным, приведенным в табл. 1, сформирована следующая обучающая выборка (табл. 2).

Приведенные в табл. 2 результаты расчета показывают принципиальную возможность моделирования поведения материала в условиях пожара с применением описываемого подхода.

Подход к переводу графика температурного режима пожара в форму, необходимую для ввода данных в нейросеть, проиллюстрирован на рис. 4.

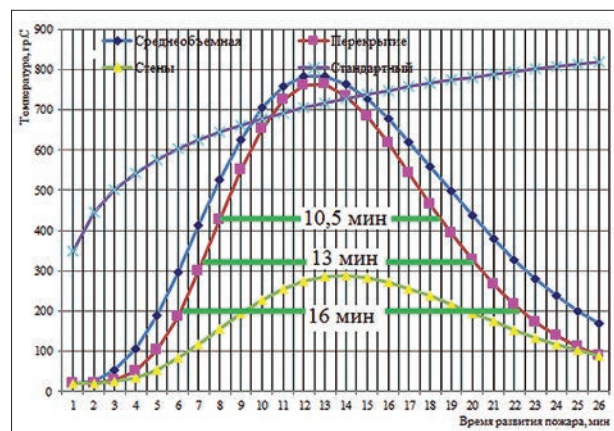


Рис. 4. Пример зависимости температуры газовой среды и строительных конструкций от времени развития пожара с указанием времени воздействия температур, характерных для методики, приведенной на рис. 1 (расчет по ГОСТ Р 12.3.047-2012 [6]).

Таблица 2

Обучающая выборка

№ п/п	Температура, воздействующая на объект					Ток размагничивания объекта, мА		Разность значений, получаемых по методике и нейросети	
	200	325	435	775	960	по методике	расчет нейросети	мА	%
1	15	0	0	0	0	24,80	24,74	0,06	0,24
2	30	0	0	0	0	24,54	24,59	-0,05	-0,20
3	45	0	0	0	0	24,44	24,41	0,03	0,12
4	60	0	0	0	0	24,30	24,3	0,00	0,00
5	75	0	0	0	0	24,17	24,19	-0,02	-0,08
6	90	0	0	0	0	24,08	24,07	0,01	0,04
7	105	0	0	0	0	23,96	23,96	0,00	0,00
8	0	15	0	0	0	24,60	24,59	0,01	0,04
9	0	30	0	0	0	24,23	24,24	-0,01	-0,04
10	0	45	0	0	0	24,03	24	0,03	0,12
11	0	60	0	0	0	23,87	23,86	0,01	0,04
12	0	75	0	0	0	23,70	23,73	-0,03	-0,13
13	0	90	0	0	0	23,62	23,58	0,04	0,17
14	0	105	0	0	0	23,43	23,42	0,01	0,04
15	0	0	15	0	0	23,20	24,18	-0,98	-4,22
16	0	0	30	0	0	23,52	23,52	0,00	0,00
17	0	0	45	0	0	23,03	22,96	0,07	0,30
18	0	0	60	0	0	22,64	22,6	0,04	0,18
19	0	0	75	0	0	22,37	22,38	-0,01	-0,04
20	0	0	90	0	0	22,22	22,22	0,00	0,00
21	0	0	105	0	0	22,11	22,09	0,02	0,09
22	0	0	0	15	0	23,68	23,67	0,01	0,04
23	0	0	0	30	0	22,82	22,83	-0,01	-0,04
24	0	0	0	45	0	22,30	22,29	0,01	0,04
25	0	0	0	60	0	21,92	21,91	0,01	0,05
26	0	0	0	75	0	21,65	21,64	0,01	0,05
27	0	0	0	90	0	21,36	21,39	-0,03	-0,14
28	0	0	0	105	0	21,11	21,11	0,00	0,00
29	0	0	0	0	15	22,45	22,46	-0,01	-0,04
30	0	0	0	0	30	21,80	21,76	0,04	0,18
31	0	0	0	0	45	21,37	21,37	0,00	0,00
32	0	0	0	0	60	21,00	20,96	0,04	0,19
33	0	0	0	0	75	20,60	20,54	0,06	0,29
34	0	0	0	0	90	20,25	20,2	0,05	0,25
35	0	0	0	0	105	19,94	20,02	-0,08	-0,40
36	Максимальная разность значений (ошибка)							-0,98	-4,22

Расчет, проведенный с применением нейросети, представленной на рис. 3 и «обученной» по выборке, представленной в табл. 2, для рассматриваемого температурного режима пожара (рис. 4) дает результат, представленный в табл. 3.

Сопоставление результатов расчета с данными, представленными в табл. 1, показывает, что температурный режим пожара, график температуры которого представлен на рис. 4, эквивалентен по воздействию на холоднодеформированное изделие температуры 325 °С в течение 15 минут.

В целях подтверждения возможности применения указанного подхода к расчету показателей степени термического повреждения объектов, находящихся на месте пожара, проведен эксперимент по исследованию свойств холоднодеформированных стальных изделий после воздействия нестационарного температурного режима.

Объект исследования — стальные строительные гвозди длиной 70 мм. Характеристики объекта представлены в табл. 4.

Таблица 3

Исходные данные и результаты расчета значения тока размагничивания холоднодеформированного стального изделия

№ узла («нейрона»)	Температура, соответствующая узлу («нейрону»), °С	Время воздействия температуры, мин (рис. 4)	Значение, рассчитанное нейросетью, мА
1	200	16	24,60
2	325	13	
3	435	10,5	
4	775	0	
5	960	0	

Таблица 4

Характеристики объекта исследования

Наименование продукции	Диаметр шляпки, D, мм	Толщина шляпки, h, мм	Диаметр стержня, d, мм	Длина, L, мм
Гвоздь строительный, стальной, арт. 12-607СТ	6	2.5	3	70

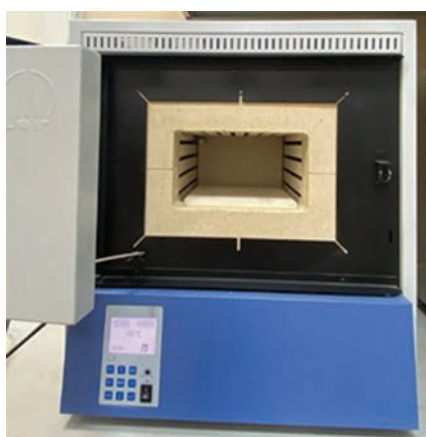


Рис. 5. Муфельная печь



Рис. 8. Характерный внешний вид объектов исследования



Рис. 6. Тепловизор



Рис. 7. Коэрцитиметр для измерения силы тока размагничивания образцов

Образцы подвергались нагреву в муфельной печи и охлаждению в соответствии с графиком, приведенным на рис. 9. После нагрева и охлаждения измерялся ток размагничивания образцов. Также значение тока размагничивания образцов для температурных режимов, приведенных на рис. 9, рассчитывалось нейросетью, «обученной» по значениям, приведенным в табл. 5. Результаты измерений и расчетов представлены в табл. 6.

Температура образцов при охлаждении контролировалась с помощью тепловизора.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод: оценка динамики температуры при пожаре по результатам инструментальных исследований с применением нейронных сетей и прогнозирование значения показателя степени термического повреждения материалов возможны. Такой подход требует построения обучающей выборки и «тренировки» нейронной сети. Полученный при этом результат позволяет оценить не просто степень термического воздействия, но и динамику температуры при пожаре.

В теории применения искусственного интеллекта в расследовании преступлений [7] решенную авторами задачу можно отнести к классу «распознавание», поскольку по отдельным значениям, полученным по результатам инструментальных исследований, нейронная сеть «распознает» температурный режим пожара.

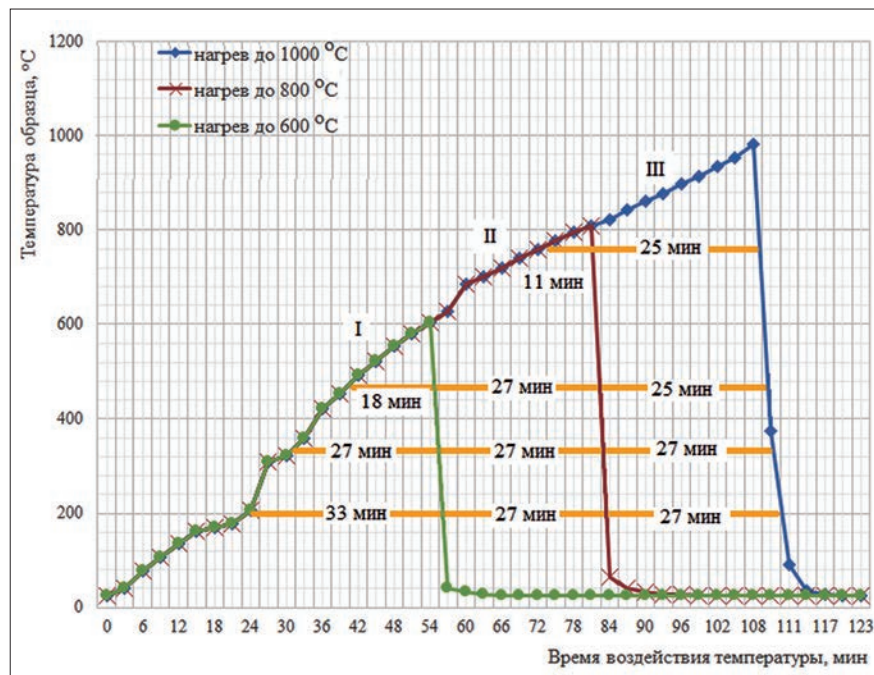


Рис. 9. Температурные режимы нагрева образцов. Римскими цифрами обозначены варианты нагрева и охлаждения, применявшиеся при исследовании

Таблица 6

Результаты измерения и расчета тока размагничивания образцов для различных температурных режимов теплового воздействия

Температурный режим по рис. 9		I	II	III	
Максимальная температура нагрева, °C		600	800	980	
Время воздействия характерных температур, мин	200 °C	33	60	87	
	325 °C	27	54	81	
	435 °C	18	45	70	
	775 °C	0	11	36	
	980 °C	0	0	0	
Значение тока размагничивания образца, мА	в эксперименте	до теплового воздействия	0,058	0,058	0,058
		после теплового воздействия	0,0518	0,0382	0,0132
	по расчету нейросети	до теплового воздействия	0,0587	0,0587	0,0587
			0,0465	0,0379	0,0137
Разность между экспериментальным и расчетным (после теплового воздействия) значениями	мА	0,0053	0,0003	-0,0005	
	%	10,2	0,8	3,8	

Совместно с методиками определения массы горючей нагрузки, находившейся в помещении до пожара, [8] и экспресс-оценкой пожарных рисков [9] расчет температурного режима позволяет

исследовать вопрос оценки причинно-следственной связи между фактами нарушения требований пожарной безопасности и наступившими последствиями.

Литература

1. Умаев А.А. Использование математических методов и моделей в расследовании дел о пожарах: Автореферат дисс.к. ю. н. М., 1990 [Электронный ресурс] // Портал НЭБ. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000029746 (дата обращения: 10.08.2022).
2. Антонов А.О. Правовое регулирование судебно-экспертной деятельности федеральной противопожарной службы МЧС России: Автореф. дисс. к. ю. н. СПб., 2009 [Электронный ресурс] // Портал НЭБ. URL: https://rusneb.ru/ru/000200_000018_RU_NLR_bibl_1425832 (дата обращения: 10.08.2022).
3. Воронов С.П. Совершенствование методики проведения экспертизы и исследования пожаров на основе новых информационных технологий: Автореферат дисс. к. т. н. М., 1997 [Электронный ресурс] // Портал НЭБ. URL: https://viewer.rusneb.ru/ru/000199_000009_000029746/000199_000009_00011411 (дата обращения: 10.08.2022).
4. Применение инструментальных методов и технических средств в экспертизе пожаров: Сб. методических рекомендаций / Под ред. И.Д. Чешко и А.Н. Соколовой. СПб.: Санкт-Петербургский филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008. 279 с.
5. Национальный стандарт ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014 «Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы» [Электронный ресурс] // Портал ГАРАНТ.РУ. URL: <https://www.garant.ru> (дата обращения: 10.08.2022).
6. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» [Электронный ресурс] // Портал ГАРАНТ.РУ. URL: <https://www.garant.ru> (дата обращения: 10.08.2022).
7. Бахтеев Д.В. Концептуальные основы теории криминалистического мышления и использования систем искусственного интеллекта в расследовании преступлений: Автореф., дисс.

- д. ю. н. Екатеринбург, 2022 [Электронный ресурс] // Портал НЭБ. URL: https://viewer.rusneb.ru/000199_000009_011217383 (дата обращения: 10.08.2022).
8. Козлачков В. И., Лобаев И. А., Плешаков В. В., Григорьев Д. Ю., Вечтомов Д. А. Определение находившейся в помещении до пожара массы горючей нагрузки // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 4 (68) [Электронный ресурс] // Портал Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29117981> (дата обращения: 10.08.2022).
 9. Козлачков В. И. Экспресс-оценка пожарных рисков при обследовании зданий и сооружений: учебное пособие / В. И. Козлачков, А. Ю. Хохлова. М.: Академия ГПС МВД России, 2001. 86 с.
 10. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях. М.: ДМК Пресс, 2015.
 11. Николаенко С. И. и др. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб., Питер, 2019.

Сведения об авторах

Григорьев Денис Юрьевич: адъюнкт, АГПС МЧС России, с. н. с.
Москва, Россия.
SPIN-код: 3785-2792.

Краснова Любовь Викторовна: к. э. н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. отдела.
Москва, Россия.
SPIN-код: 6524-6195.

Вечтомов Денис Анатольевич: к. т. н., Департамент образовательной и научно-технической деятельности МЧС России, ст. инсп., полковник внутренней службы.
Москва, Россия.
SPIN-код: 4999-6183.

Information about the authors

Grigoriev Denis Y.: Adjunct, Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia, Senior Researcher.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 3785-2792.

Krasnova Lyubov V.: PhD (Economic Sc.), All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Senior Researcher, Research Department.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 6524-6195.

Vechtomov Denis A.: PhD (Technical Sc.), Department of Educational, Scientific and Technical Activities of the Russian Emergencies Ministry, Senior Inspector, Colonel of Internal Service.
Moscow, Russia.
SPIN-scientific: 4999-6183.

Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
<i>Арефьева Е.В. и др.</i> Устойчивость муниципальных образований Российской Федерации в условиях изменения климата.	https://elibrary.ru/item.asp?id=49448379
<i>Жуков А.О. и др.</i> Системный анализ: Философско-методологические аспекты. Часть 1.	https://elibrary.ru/item.asp?id=49470474
<i>Сосунов И.В. и др.</i> Настольная книга (пособие) председателя комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности	https://elibrary.ru/item.asp?id=32546511
<i>Батырев В.В. и др.</i> Средства коллективной защиты. Оценка эффективности и качества защиты населения в чрезвычайных ситуациях	https://elibrary.ru/item.asp?id=35283773
<i>Кустилов В.К. и др.</i> Информационно-аналитический бюллетень об организации деятельности территориальных органов МЧС России в области реагирования пожарно-спасательных подразделений на дорожно-транспортные происшествия в субъектах Российской Федерации в 2017 году	https://elibrary.ru/item.asp?id=35367271
Основные результаты развития и совершенствования МЧС России в 2012–2018 годах. Фотокнига	https://elibrary.ru/item.asp?id=35201457
Настольная книга руководителя гражданской обороны. Изд. 6-е, актуализ. и дополн.	https://elibrary.ru/item.asp?id=35027110
<i>Разумов В.В. и др.</i> Масштабы и опасность наводнений в регионах России	https://elibrary.ru/item.asp?id=35108092
<i>Акимов В. А.</i> Общая теория безопасности жизнедеятельности в современной научной картине мира	https://elibrary.ru/item.asp?id=36813168
<i>Сосунов И.В. и др.</i> Проблемные вопросы разработки перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в составе проектной документации объектов капитального строительства. Монография	http://elibrary.ru/item.asp?id=28414015
<i>Пучков В.А. и др.</i> Мы первыми приходим на помощь. Литературно-художественный публицистический сборник	https://elibrary.ru/item.asp?id=29281817