

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

TECHNOSPHERE SAFETY



УДК 614.84

Научная статья

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-27-37>


Обоснование необходимости использования службы радиационной и химической защиты в составе специализированных пожарно-спасательных частей в субъектах Российской Федерации

В.А. Маштаков , Е.В. Бобринев , Е.Ю. Удавцова , А.А. Кондашов , Е.С. Трещин 

Всероссийский Ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, Российская Федерация, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12

✉ otdel_1_3@mail.ru

Аннотация

Введение. В последнее время большое внимание уделяется вопросам перспективного развития специализированных пожарно-спасательных частей Федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы (ФПС ГПС). В связи с этим существует потребность в разработке критериев для обоснования использования той или иной службы в составе специализированных пожарно-спасательных частей (СПСЧ). Поэтому цель данного исследования состояла в разработке математической модели для обоснования необходимости использования службы радиационной и химической защиты в составе СПСЧ в субъектах Российской Федерации.

Материалы и методы. Обоснование необходимости использования службы радиационной и химической защиты (РХЗ) в составе СПСЧ проведено с использованием теории нечетких множеств. В математической модели учитываются природно-климатические и географические особенности субъектов, показатели социального и технико-экономического развития и риски возникновения чрезвычайных ситуаций и пожаров. Также учитывается наличие сил и средств РСЧС в каждом субъекте Российской Федерации. Всего отобрано 15 показателей, характеризующих необходимость использования службы РХЗ в составе СПСЧ. Для каждого показателя определена функция желательности, которая показывает, какие значения показателя являются наиболее приемлемыми с точки зрения необходимости использования службы РХЗ в составе СПСЧ.

Результаты исследования. С использованием разработанной модели определены субъекты Российской Федерации, в которых потребность в службе РХЗ в составе СПСЧ наиболее высокая. Службу РХЗ 1-го разряда предлагается создать в Московской, Свердловской и Ростовской областях, в Красноярском и Приморском краях и в г. Санкт-Петербурге. В 21 субъекте предлагается использовать службу РХЗ 2-го разряда. В остальных субъектах предложено присвоить службе РХЗ 3-ий разряд.

Обсуждение и заключения. Разработанная с использованием теории нечетких множеств математическая модель позволит более дифференцированно подходить к созданию службы РХЗ в составе СПСЧ и повысить эффективность функционирования данной службы и СПСЧ в целом. Представленная модель может быть применена для обоснования необходимости использования других служб и групп в составе СПСЧ.

Ключевые слова: нечеткое множество, специализированная пожарно-спасательная часть, чрезвычайная ситуация, пожар, риск, радиационная и химическая защита.

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакционной коллегии журнала и рецензенту за профессиональный анализ и рекомендации для корректировки статьи.

Для цитирования. Маштаков В.А., Бобринев Е.В., Удавцова Е.Ю. и др. Обоснование необходимости использования службы радиационной и химической защиты в составе специализированных пожарно-спасательных частей в субъектах Российской Федерации. *Безопасность техногенных и природных систем.* 2023;7(2):27–37. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-27-37>

Justification of the Need to Use the Radiation and Chemical Protection Service as Part of Special Fire and Rescue Units in the Subjects of the Russian Federation

Vladislav A Mashtakov  , Evgeniy V Bobrinev , Elena Yu Udavtsova , Andrey A Kondashov ,
Evgeniy S Treshchin 

All-Russian Research Institute of Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, 7, VNIIPPO md., Balashikha, Russian Federation

 otdel_1_3@mail.ru

Abstract

Introduction. Recently, much attention has been paid to the issues of long-term development of specialized fire and rescue units of the Federal Fire Service of the State Fire Service. In this regard, there is a need to develop criteria to justify the use of a particular service as part of specialized fire and rescue units. Therefore, the objective of this study is to develop a mathematical model to justify the need to use radiation and chemical protection services as part of specialized fire and rescue units in the subjects of the Russian Federation.

Materials and Methods. Justification of the need to use radiation and chemical protection services as part of specialized fire and rescue units has been carried out using the theory of fuzzy sets. The mathematical model takes into account the climatic and geographical features of the subjects, indicators of social, technical and economic development, and the risks of emergencies and fires. It also takes into account the availability of forces and means of a Unified State system for the prevention and liquidation of emergency situations in each subject of the Russian Federation. In total, 15 indicators were selected that characterize the need to use radiation and chemical protection services as part of specialized fire and rescue units. A desirability function is defined for each indicator, which shows which values of the indicator are the most acceptable from the point of view of the need to use radiation and chemical protection services as part of specialized fire and rescue units.

Results. Using the developed model, the subjects of the Russian Federation are identified in which the need for radiation and chemical protection service as part of specialized fire and rescue units is the highest. It is proposed to create a radiation and chemical protection service of the 1st category in the Moscow, Sverdlovsk and Rostov regions, in the Krasnoyarsk and Primorsky Territories and in St. Petersburg. In 21 subjects it is proposed to use the radiation and chemical protection service of the 2nd category. In other subjects, it is proposed to assign the 3rd category to the radiation and chemical protection service.

Discussion and Conclusion. The mathematical model developed using the theory of fuzzy sets will allow a more differentiated approach to the creation of a radiation and chemical protection service as part of specialized fire and rescue units and increase the efficiency of the functioning of this service and specialized fire and rescue units as a whole. The presented model can be applied to justify the need to use other services and groups as part of specialized fire and rescue units.

Keywords: fuzzy set, specialized fire and rescue unit, emergency, fire, risk, radiation and chemical protection.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the editorial board of the journal and the reviewer for their professional analysis and recommendations for correcting the article.

For citation. Mashtakov VA., Bobrinev EV., Udavtsova EYu, et al. Justification of the Need to Use the Radiation and Chemical Protection Service as Part of Special Fire and Rescue Units in the Subjects of the Russian Federation. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2023;7(2):27–37. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-7-2-27-37>

Введение. На специализированные пожарно-спасательные части ФПС ГПС (далее — СПСЧ) в территориальных гарнизонах пожарной охраны возлагаются задачи по тушению крупных пожаров в населенных пунктах и на объектах, проведению аварийно-спасательных, водолазных и иных специальных инженерно-технических работ, связанных с ликвидацией пожаров, ликвидацией последствий техногенных и природных чрезвычайных ситуаций [1, 2].

Согласно типовому штатному расписанию (приказ МЧС от 21.03.2014 № 129 «О внесении изменений в приказ МЧС России от 30.12.2005 № 1027 и признании утратившими силу приказов МЧС России и отдельных положений приказов МЧС России») в состав СПСЧ могут входить следующие службы и группы:

- водолазная служба;
- медико-психологическая служба;
- служба телекоммуникации и связи;

- инженерная служба;
- служба радиационной и химической защиты;
- служба тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ;
- кинологовическая группа;
- группа пиротехнических работ;
- группа технического обеспечения и обслуживания;
- группа робототехнических средств и беспилотных летательных аппаратов.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам перспективного развития СПСЧ [2]. В связи с этим возникла необходимость сформулировать критерии для обоснования использования той или иной службы в составе СПСЧ.

Целью настоящего исследования является разработка математической модели с применением теории нечетких множеств [3–6] для определения необходимости использования службы радиационной и химической защиты (далее — РХЗ) в составе СПСЧ для обеспечения пожарной безопасности и защиты территорий от чрезвычайных ситуаций в субъектах Российской Федерации.

Служба РХЗ в СПСЧ Главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации создается для обеспечения мер безопасности и повышения готовности СПСЧ к тушению пожаров, ликвидации аварийных ситуаций на объектах с наличием химически опасных веществ, а также тушения пожаров и проведения связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ на объектах с наличием радиоактивных веществ и других источников ионизирующих излучений.

Материалы и методы. Для разработки математической модели был сформирован перечень показателей, которые характеризуют необходимость использования СПСЧ и отдельных служб (групп) СПСЧ в субъектах Российской Федерации. Всего отобрано 34 показателя. Из этих показателей выделены те, которые характеризуют необходимость использования службы РХЗ. Все показатели разбиты на три группы.

Природно-климатические и географические особенности субъекта характеризуют следующие показатели:

- площадь территории;
- сейсмическая опасность;
- наличие горных массивов;
- социальные и технико-экономические факторы, которые включают следующие показатели;
- доля промышленного производства в общем объеме;
- степень износа основных производственных фондов;
- протяженность автомобильных дорог;
- протяженность железных дорог;
- количество радиационно-опасных объектов;
- количество химически опасных объектов;
- количество взрывопожароопасных объектов.

В третью группу входят риски возникновения чрезвычайных ситуаций и пожаров, а также показатели, характеризующий наличие сил и средств РСЧС в рассматриваемом и соседних субъектах Российской Федерации:

- среднее расстояние до ближайшей СПСЧ, в которой есть служба РХЗ;
- среднее расстояние до ближайшего подразделения сил РСЧС, в котором есть служба РХЗ;
- наличие службы РХЗ в СПСЧ в рассматриваемом субъекте Российской Федерации;
- риск чрезвычайных ситуаций, связанных с химической и радиационной опасностью;
- риск чрезвычайных ситуаций, связанных со взрывами, обрушениями.

Для каждого показателя определена функция желательности [7, 8], значения которой лежат в интервале от 0 до 1. Функция желательности демонстрирует, какие значения показателя являются наиболее приемлемыми с точки зрения необходимости использования службы РХЗ в составе СПСЧ.

Если с увеличением значения показателя востребованность службы РХЗ возрастает, функция желательности имеет вид:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1, \\ \frac{x-x_1}{x_2-x_1}, & x_1 \leq x \leq x_2, \\ 1, & x > x_2. \end{cases} \quad (1)$$

Если большее значение показателя соответствует меньшей востребованности службы РХЗ, функция желательности имеет вид:

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 1, & x < x_1, \\ \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1}, & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0, & x > x_2. \end{cases} \quad (2)$$

Граничные значения x_1 и x_2 для каждого показателя определяются путем анализа статистических данных. Функции $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$ используются для показателей, значения которых меняются непрерывно.

Для формализации показателей, задаваемых на качественном уровне, используются лингвистические оценки степени выраженности показателя. Функция желательности для таких показателей принимает дискретные значения.

Для показателя «сейсмическая опасность» функция желательности имеет вид:

$$\mu_3(y) = \begin{cases} 0, & y < 6, \\ 0,2, & y = 6, \\ 0,4, & y = 7, \\ 0,6, & y = 8, \\ 0,8, & y = 9, \\ 1, & y \geq 10, \end{cases} \quad (3)$$

где величина y характеризует наличие в субъекте Российской Федерации населенных пунктов с указанной сейсмической интенсивностью для степени сейсмической опасности S (согласно своду правил СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах»).

Для показателя «наличие горных массивов» функция желательности имеет вид:

$$\mu_4(z) = \begin{cases} 0, & z = 0, \\ 0,25, & 0 \leq z < 0,2, \\ 0,5, & 0,2 \leq z < 0,4, \\ 0,75, & 0,4 \leq z < 0,6, \\ 1, & z \geq 0,6, \end{cases} \quad (4)$$

где величина z характеризует долю территории субъекта Российской Федерации, занятую горными массивами.

Для показателя «наличие службы РХЗ в СПСЧ» функция желательности имеет вид:

$$\mu_5(r) = \begin{cases} 0, & \text{если служба РХЗ создана,} \\ 1, & \text{если служба РХЗ отсутствует.} \end{cases} \quad (5)$$

Интегральная оценка необходимости использования службы РХЗ в СПСЧ в субъекте Российской Федерации определяется по формуле:

$$W = \sum_{m=1}^3 \beta_m w_m, \quad (6)$$

где β_m — весовой множитель для m -ой группы показателей.

Обобщенная оценка w_m для m -ой группы показателей для субъекта Российской Федерации определяется по формуле:

$$w_m = \sum_{k=1}^{N_m} \alpha_{km} \mu_k(x_k), \quad (7)$$

где N_m — количество показателей в m -ой группе; α_{km} — весовой множитель для k -го показателя в m -ой группе; μ_k — функция желательности для k -го показателя; x_k — значение k -го показателя для субъекта Российской Федерации.

Для определения весовых множителей для каждой группы показателей использовался метод попарных сравнений на основе лингвистической шкалы оценок [9, 10]. При сравнении i -го и j -го показателей ставится оценка a_{ij} в зависимости от степени важности этих показателей с точки зрения необходимости использования службы РХЗ в СПСЧ от 1 (если показатели одинаково значимы) до 9 (если i -ый показатель строго предпочтительней j -го). Оценка сравнения j -го показателя с i -ым имеет обратное значение $1/a_{ij}$.

В качестве примера в таблице 1 приведена матрица попарных сравнений для показателей, характеризующих социально- и технико-экономические особенности субъекта Российской Федерации. Названия показателей приведены в таблице 2.

Искомые значения весовых множителей $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ для каждой группы показателей являются решением оптимизационной задачи

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (a_{ij} \alpha_j - \alpha_i)^2 \rightarrow \min; \sum_{i=1}^N \alpha_i = 1, \quad (8)$$

которое находится методом неопределенных множителей Лагранжа [11]. Оптимизационная задача (8) сводится к системе из $N+1$ линейных уравнений, решением которой являются искомые весовые множители α_i и множитель Лагранжа λ .

Таблица 1

Матрица парных сравнений для показателей, характеризующих социально- и технико-экономические особенности субъекта Российской Федерации, с точки зрения необходимости использования службы РХЗ в СПСЧ

№ пок.	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	0,33	0,50	0,25	0,25	1
2	1	1	0,33	0,50	0,25	0,25	1
3	3	3	1	3	1	1	5
4	2	2	0,33	1	0,33	0,33	1
5	4	4	1	3	1	1	4
6	4	4	1	3	1	1	4
7	1	1	0,20	1	0,25	0,25	1

В таблице 2 приведены вид функции желательности и ее параметры, расчетные значения весовых множителей α_{km} для показателей, входящих в каждую группу, а также весовые множители β_m для каждой из трех групп показателей.

Таблица 2

Параметры функции желательности и весовые множители для показателей, характеризующих необходимость использования службы РХЗ в СПСЧ

№ п/п	Название показателя	Функция	Значение x_1	Значение x_2	Весовой множитель α_{km}
Природно-климатические и географические характеристики ($\beta_1 = 0,127$)					
1	Площадь территории, тыс. км ²	$\mu_1(x)$	20	200	0,583
2	Сейсмическая опасность	$\mu_3(x)$	—	—	0,258
3	Наличие горных массивов	$\mu_4(x)$			0,159
Социально- и технико-экономические характеристики ($\beta_2 = 0,222$)					
1	Доля промышленного производства в общем объеме, %;	$\mu_2(x)$	20	50	0,063
2	Степень износа основных производственных фондов, %	$\mu_1(x)$	40	60	0,063
3	Протяженность автомобильных дорог, тыс. км	$\mu_1(x)$	5	20	0,239
4	Протяженность железных дорог, тыс. км	$\mu_1(x)$	0,5	2	0,084
5	Количество радиационно-опасных объектов, ед.	$\mu_1(x)$	0	5	0,247
6	Количество химически-опасных объектов, ед.	$\mu_1(x)$	30	100	0,247
7	Количество взрывопожароопасных объектов, ед.	$\mu_1(x)$	50	150	0,057
Риски возникновения чрезвычайных ситуаций и пожаров ($\beta_3 = 0,651$)					
1	Расстояние до ближайшей СПСЧ, в которой есть служба РХЗ, км	$\mu_1(x)$	50	500	0,075
2	Расстояние до ближайшего подразделения РСЧС, в котором есть служба РХЗ, км	$\mu_1(x)$	50	500	0,075
3	Наличие службы РХЗ в СПСЧ	$\mu_5(x)$	—	—	0,703
4	Риск чрезвычайных ситуаций, связанных с химической и радиационной опасностью, год ⁻¹	$\mu_1(x)$	0	0,2	0,085
5	Риск чрезвычайных ситуаций, связанных со взрывами, обрушениями, год ⁻¹	$\mu_1(x)$	0	0,4	0,061

Результаты исследования. Разработанная математическая модель была применена для определения необходимости использования службы РХЗ в составе СПСЧ для обеспечения пожарной безопасности и защиты территорий от чрезвычайных ситуаций в субъектах Российской Федерации. Значения показателей социально-

экономического развития субъектов определены по данным Федеральной службы государственной статистики¹. Количество опасных объектов в субъектах определено с использованием данных [12]. Риски возникновения ЧС определены на основании анализа данных по видам источников возникновения и характера ЧС в субъектах Российской Федерации за период 2010-2021 гг.

На первом этапе были определены субъекты Российской Федерации, в которых необходимо использовать СПСЧ 1-го разряда. Для этих субъектов должно быть выполнено условие:

$$W \geq W_{\text{гр}} = \frac{2W_{\text{max}} + W_{\text{min}}}{3}, \quad (9)$$

где W — значение интегрального показателя необходимости использования СПСЧ в субъекте Российской Федерации; W_{min} и W_{max} — минимальное и максимальное значения интегрального показателя среди субъектов Российской Федерации. Граничное значение $W_{\text{гр}}$ получено равным 0,650.

По результатам расчетов СПСЧ 1-го разряда предлагается использовать в шести субъектах Российской Федерации: в Московской, Свердловской и Ростовской областях, в Красноярском и Приморском краях и в г. Санкт-Петербурге. Во всех СПСЧ 1-го разряда службе РХЗ присваивается 1-ый разряд.

На втором этапе для остальных субъектов Российской Федерации были определены значения показателя «среднее расстояние до ближайшей СПСЧ» с учетом СПСЧ 1-го разряда и вычислены значения интегрального показателя необходимости использования службы РХЗ в СПСЧ.

Службу РХЗ 2-го разряда предлагается использовать в СПСЧ, если выполнено условие:

$$W_{\text{РХЗ}} \geq W_{\text{РХЗ,гр}} = \frac{2W_{\text{РХЗ,max}} + W_{\text{РХЗ,min}}}{3}, \quad (10)$$

где $W_{\text{РХЗ}}$ — значение интегрального показателя необходимости использования службы РХЗ в СПСЧ в субъекте Российской Федерации; $W_{\text{РХЗ,min}}$ и $W_{\text{РХЗ,max}}$ — минимальное и максимальное значения интегрального показателя среди субъектов Российской Федерации, в которых нет СПСЧ 1-го разряда. Граничное значение $W_{\text{РХЗ,гр}}$ получено равным 0,759.

В оставшихся субъектах Российской Федерации предлагается в СПСЧ использовать службу РХЗ 3-го разряда.

Полученные значения интегрального показателя необходимости использования службы РХЗ в СПСЧ в субъектах Российской Федерации $W_{\text{РХЗ}}$, приведены на рис. 1. Службу РХЗ 1-го разряда предлагается использовать в 6 субъектах Российской Федерации (выделены красным цветом на рисунке), службу РХЗ 2-го разряда — в 21 субъекте (выделены желтым цветом), 3-го разряда — в 58 субъектах (выделены зеленым цветом).

Проведено сравнение результатов расчетов по математической модели с фактическим наличием службы РХЗ в СПСЧ в субъектах Российской Федерации. Для этого были собраны сведения из Главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации о наличии и потребности в службе РХЗ в составе СПСЧ.

Из субъектов, вошедших в красную группу, служба РХЗ не создана только в СПСЧ г. Санкт-Петербург.

Из субъектов, вошедших в желтую группу, служба РХЗ в СПСЧ создана в 19 субъектах из 21.

¹ Регионы России. Социально-экономические показатели. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/b20_14p/Main.htm (дата обращения: 20.02.2023)

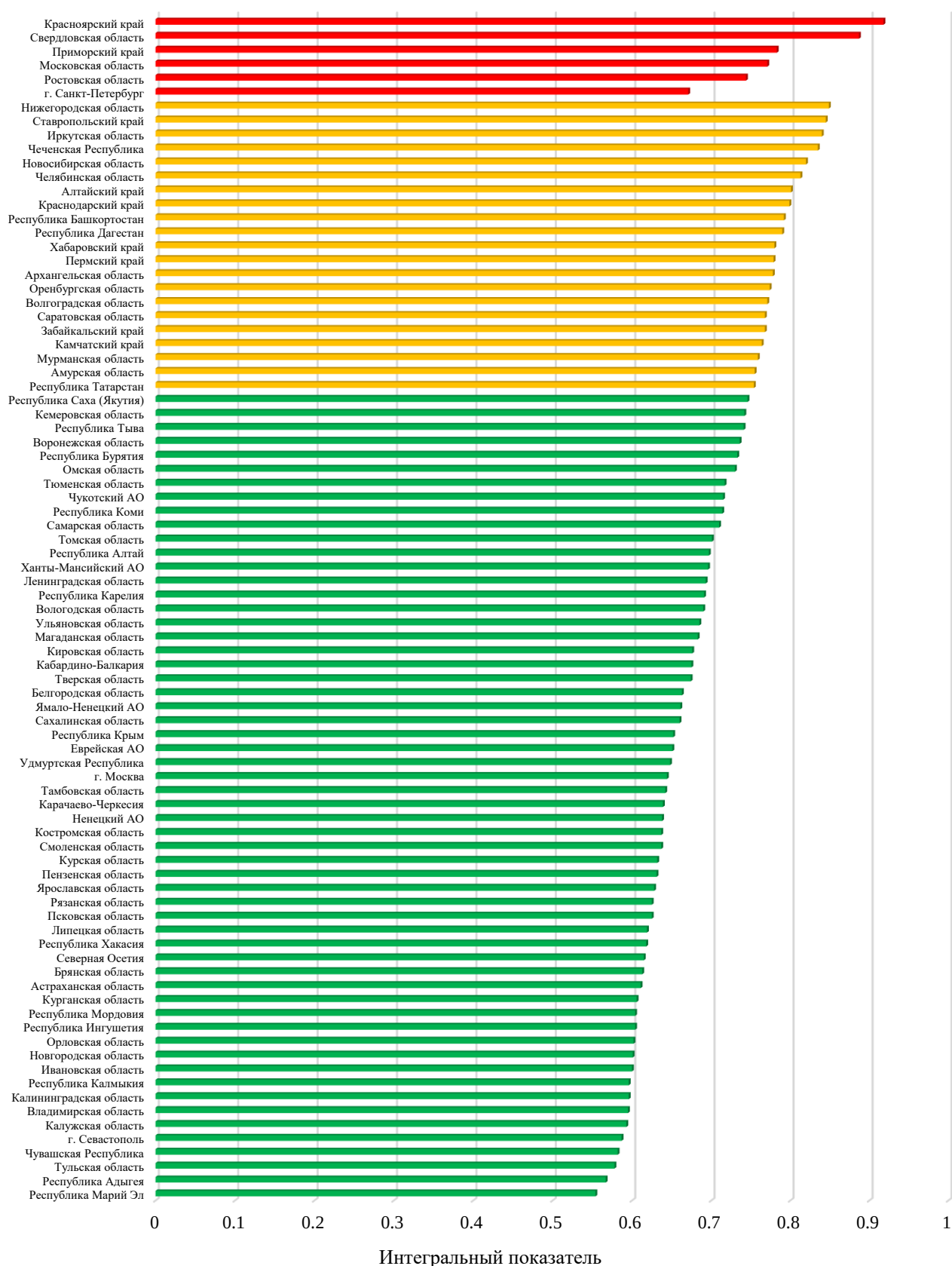


Рис. 1. Распределение субъектов Российской Федерации по интегральному показателю необходимости использования службы РХЗ в СПСЧ в субъектах Российской Федерации

Из субъектов, вошедших в зеленую группу, служба РХЗ в СПСЧ есть в 40 субъектах Российской Федерации из 58, 9 субъектов заявили о необходимости создания службы РХЗ, еще 5 субъектов, в которых создана данная служба, заявили об отсутствии потребности в ней.

Была выполнена проверка существования статистической взаимосвязи между результатами расчетов по математической модели и фактическим наличием службы РХЗ в СПСЧ в субъектах Российской Федерации с использованием χ^2 критерия Пирсона [13, 14]. Полученные результаты можно отобразить в виде таблицы сопряженности (таблица 3).

Таблица 3

Таблица сопряженности для проверки взаимосвязи между результатами расчетов по математической модели и фактическим наличием или заявленной потребности в службе РХЗ в СПСЧ в субъектах Российской Федерации

Название группы	Количество субъектов Российской Федерации, в которых		Общее количество субъектов Российской Федерации
	создана служба РХЗ или есть потребность	служба РХЗ отсутствует или нет потребности	
Красная группа	5	1	6
Желтая группа	19	2	21
Зеленая группа	44	14	58
Всего	68	17	85

Значение χ^2 -статистики для двухпольной таблицы 3 равно 2,11. Критическое значение критерия χ^2 для двух степеней свободы при уровне значимости 0,05 составляет 5,99. Расчетное значение меньше критического, что говорит об отсутствии взаимосвязи между результатами расчетов по математической модели и фактическим наличием службы РХЗ в СПСЧ в субъектах Российской Федерации. Это указывает на то, что службы РХЗ в составе СПСЧ в настоящее время созданы без учета рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и пожаров и других особенностей субъектов Российской Федерации. Использование предложенного в статье подхода позволит более дифференцированно подходить к созданию службы РХЗ в составе СПСЧ и повысить эффективность функционирования данной службы и СПСЧ в целом.

Обсуждение и заключения. Разработана математическая модель на основе теории нечетких множеств для обоснования необходимости службы радиационной и химической защиты в составе специализированных пожарно-спасательных частей для обеспечения пожарной безопасности и защиты территорий от чрезвычайных ситуаций в субъектах Российской Федерации. Модель учитывает природно-климатические и географические особенности субъектов, показатели социального и технико-экономического развития и риски возникновения чрезвычайных ситуаций и пожаров. Также учитывается наличие сил и средств РСЧС в рассматриваемом и соседних субъектах Российской Федерации.

Предложено присвоить каждой СПСЧ разряд от 1-го до 3-го, в зависимости от масштаба задач, к решению которых привлекается СПСЧ с учетом рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и пожаров. Аналогичным образом разрядность предложено устанавливать для служб и групп в составе СПСЧ.

На основе разработанной модели проведены расчеты интегральной оценки для обоснования необходимости использования службы РХЗ в СПСЧ для каждого субъекта Российской Федерации. Определены субъекты Российской Федерации, в которых потребность в службе РХЗ в составе СПСЧ наиболее высокая. В этих субъектах предлагается использовать службу РХЗ 1-го и 2-го разрядов.

Разработанная модель может быть применена для обоснования необходимости использования других служб (групп) в составе СПСЧ.

Список литературы

1. Киселёв Д.В. Модели управления развитием специализированных пожарно-спасательных частей. *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2020;3:77–83. <https://doi.org/10.25257/FE.2020.3.77-83>
2. Дагиров Ш.Ш., Алешков М.В., Ищенко А.Д. и др. *Специализированные подразделения пожарной охраны: монография*. Москва: Академия ГПС МЧС России; 2017. 173 с.
3. Пегат А. *Нечеткое моделирование и управление*. 2-е изд. Москва: Бином. Лаборатория знаний; 2013. 798 с.
4. Tzeng G.H., Huang J.J. *Fuzzy Multiple Objective Decision Making*. New York: Chapman and Hall/CRC; 2013. P. 1–299. <https://doi.org/10.1201/b15337>

5. Zhu K., Zhan J. Fuzzy parameterized fuzzy soft sets and decision making. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. 2016;7(6):1207–1212. <https://doi.org/10.1007/s13042-015-0449-z>
6. Bloch I. Fuzzy sets for image processing and understanding. *Fuzzy Sets and Systems*. 2015;281:280–291. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2015.06.017>
7. Dubois D., Perny P. A review of fuzzy sets in decision sciences: Achievements, limitations and perspectives. *International Series in Operations Research and Management Science*. 2016;233:637–691. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47024-1_11
8. Straszecka E., Pander E. Possible Use of Fuzzy Sets Similarity for Patient's Parameters Observation. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021;1081:92–102. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47024-1_11
9. Коршунов В.А. Ограничение «семь плюс-минус два» и многоуровневое структурирование информации. *Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Серия: Гуманитарные науки*. 2014 4:12–20.
10. Khan A., Hadi A., Khan S.A., Hussain F. A decision making approach based on multi-fuzzy bipolar soft sets. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 2019;37(2):1879–1892. [10.3233/JIFS-179250](https://doi.org/10.3233/JIFS-179250)
11. Fischer A., Scheck W., Izmailov A.F. et al. Adjusting dual iterates in the presence of critical Lagrange multipliers. *SIAM Journal on Optimization*. 2020;30(2):1555–1581. <https://doi.org/10.1137/19M1255380>
12. Цаликов Р.Х., Акимов В.А., Козлов К.А. *Оценка природной, техногенной и экономической безопасности России*. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России; 2009. 464 с.
13. Гржибовский А.М. Анализ номинальных данных (независимые наблюдения). *Экология человека*. 2008;6:58–68.
14. Balakrishnan N., Voinov V., Nikulin M.S. *Chi-squared goodness of fit tests with applications*. Amsterdam: Elsevier Inc.; 2013. 229 p.

References

1. Kisilev DV. Models for managing the development of specialized fire and rescue unit. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya*. 2020;3:77–83. <https://doi.org/10.25257/FE.2020.3.77-83> (In Russ.).
2. Dagirov ShSH, Aleshkov MV, Ishchenko AD, et al. *Spetsializirovannyye podrazdeleniya pozharnoi okhrany: monografiya*. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii; 2017. 173 p. (In Russ.).
3. Pegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie*. 2nd ed. Moscow: Binom. Laboratoriya znaniy; 2013. 798 p. (In Russ.).
4. Tzeng GH., Huang JJ. *Fuzzy Multiple Objective Decision Making*. New York: Chapman and Hall/CRC; 2013. P. 1–299. <https://doi.org/10.1201/b15337>
5. Zhu K., Zhan J. Fuzzy parameterized fuzzy soft sets and decision making. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. 2016;7(6):1207–1212. <https://doi.org/10.1007/s13042-015-0449-z>
6. Bloch I. Fuzzy sets for image processing and understanding. *Fuzzy Sets and Systems*. 2015;281:280–291. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2015.06.017>
7. Dubois D., Perny P. A review of fuzzy sets in decision sciences: Achievements, limitations and perspectives. *International Series in Operations Research and Management Science*. 2016;233:637–691. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47024-1_11
8. Straszecka E., Pander E. Possible Use of Fuzzy Sets Similarity for Patient's Parameters Observation. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021;1081:92–102. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47024-1_11
9. Korshunov VA. The «seven plus or minus two» limitation and multilevel structuring of information. *Vestnik obrazovatel'nogo konsortsiума Srednerusskii universitet. Seriya: Gumanitarnye nauki*. 2014 4:12–20. (In Russ.).
10. Khan A., Hadi A., Khan SA., Hussain F. A decision making approach based on multi-fuzzy bipolar soft sets. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 2019;37(2):1879–1892. [10.3233/JIFS-179250](https://doi.org/10.3233/JIFS-179250)
11. Fischer A., Scheck W., Izmailov A.F. et al. Adjusting dual iterates in the presence of critical Lagrange multipliers. *SIAM Journal on Optimization*. 2020;30(2):1555–1581. <https://doi.org/10.1137/19M1255380>
12. Tsalikov RKh, Akimov VA, Kozlov KA. *Otsenka prirodnoi, tekhnogennoi i ekonomicheskoi bezopasnosti Rossii*. Moscow: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut po problemam grazhdanskoi oborony i chrezvychaynykh situatsii MChS Rossii; 2009. 464 p. (In Russ.).

13. Grzhibovskii AM. Analiz nominal'nykh dannyykh (nezavisimye nablyudeniya). *Human Ecology* 2008;6:58–68. (In Russ.).

14. Balakrishnan N., Voinov V., Nikulin M.S. *Chi-squared goodness of fit tests with applications*. Amsterdam: Elsevier Inc.; 2013. 229 p.

Об авторах:

Маштаков Владислав Александрович, начальник отдела научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), [ORCID](#), otdel_1_3@mail.ru

Бобринев Евгений Васильевич, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат биологических наук, [ORCID](#), otdel_1_3@mail.ru

Удавцова Елена Юрьевна, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат технических наук, [ORCID](#), otdel_1_3@mail.ru

Кондашов Андрей Александрович, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат физико-математических наук, [ORCID](#), [ScopusID akond2008@mail.ru](mailto:ScopusID_akond2008@mail.ru)

Трещин Евгений Сергеевич, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны (143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), [ORCID](#), akond2008@mail.ru

Поступила в редакцию 19.04.2023.

Поступила после рецензирования 25.04.2023.

Принята к публикации 05.05.2023.

Заявленный вклад авторов:

В.А. Маштаков — верификация статистических данных, редактирование окончательного варианта статьи. Е.В. Бобринев — сбор статистических данных, сопоставление результатов расчета с фактическими данными. Е.Ю. Удавцова — проведение расчетов по математической модели, редактирование окончательного варианта статьи. А.А. Кондашов — разработка математической модели, написание первого варианта статьи. Е.С. Трещин — подготовка матриц парных сравнений, определение параметров функций желательности.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Vladislav A Mashtakov, head of Department of the Research Center for Organizational and Managerial Problems of Fire Safety, All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia (12, VNIPO md., Balashikha, Moscow reg., 143903, RF), [ORCID](#), otdel_1_3@mail.ru

Evgeniy V Bobrinev, leading researcher of the Research Center for Organizational and Managerial Problems of Fire Safety, All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia (12, VNIPO md., Balashikha, Moscow reg., 143903, RF), Cand. Sci. (Biol.), [ORCID](#), otdel_1_3@mail.ru

Elena Yu. Udavtsova, leading researcher at the Research Center for Organizational and Managerial Problems of Fire Safety, All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia (12, VNIPO md., Balashikha, Moscow reg., 143903, RF), Cand. Sci. (Eng.), [ORCID](#), otdel_1_3@mail.ru

Andrey A. Kondashov, leading researcher at the Research Center for Organizational and Managerial Problems of Fire Safety, All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia (12, VNIPO md., Balashikha, Moscow reg., 143903, RF), Cand. Sci. (Phys.-Math.), [ORCID](#), [ScopusID akond2008@mail.ru](mailto:akond2008@mail.ru)

Evgeniy S. Treshchin, senior researcher at the Research Center for Organizational and Managerial Problems of Fire Safety, All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia (12, VNIPO md., Balashikha, Moscow reg., 143903, RF), [ORCID](#), akond2008@mail.ru

Received 19.04.2023.

Revised 25.04.2023.

Accepted 05.05.2023.

Claimed contributorship:

VA Mashtakov: verification of statistical data, editing of the final version of the article. EV Bobrinev: collection of statistical data, comparison of calculation results with actual data. EY Udavtsova: calculations with the use of a mathematical model, editing the final version of the article. AA Kondashov: development of a mathematical model, writing the first version of the article. ES Treshchin: preparation of matrices of paired comparisons, determination of parameters of desirability functions.

Conflict of interest statement

The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.