

Процедура управления пожарной безопасностью на основе риск-ориентированного подхода с учетом предпочтения лица принимающего решения в многокритериальной системе «Результат – Затраты – Время»

Р.Ш. Хабибулин, Д.В. Тараканов

Академия ГПС МЧС России, Москва

Аннотация: В статье сформулирована постановка задачи по разработке процедуры управления пожарной безопасностью на основе риск-ориентированного подхода с учетом предпочтения лица, принимающего решение в многокритериальной системе «Результат – Затраты – Время». Разработана многокритериальная математическая модель рассматриваемой процедуры, а также алгоритм ее реализации с разработкой информационной технологии и тестовым примером.

Ключевые слова: риск-ориентированный подход, пожарный риск, системы поддержки принятия решений, Парето-оптимальные решения, управление.

Введение

Современные методы управления пожарной безопасностью различных объектов защиты включают в себя значительное количество процедур принятия решений, многие из которых требуют учета множества критериев [1-5]. В работах [1, 2] рассматриваются вопросы управления пожарной безопасностью объектов защиты, экспертные методы прогноза внешних воздействий, методы управления рисками, основные методы многоцелевой оптимизации. В статье [3] рассматриваются актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов защиты, отмечается важная роль деятельности по непрерывному повышению уровня пожарной безопасности на основе существующих стандартов менеджмента производственной безопасности, в частности систем менеджмента безопасности и охраны здоровья, с учетом поддержания приемлемых уровней пожарных рисков. В публикации [4] рассмотрены методы и модели оценки вариантов проектных решений монтажа сооружений специального назначения при решении задач строительно-технической экспертизы, а также приведено описание каталога проектных решений монтажа спецсооружений,

включающего информацию о стоимостных, ресурсных, временных характеристиках. В работе [5] предложена концепция к построению риск-ориентированных моделей управления пожароопасными событиями. Результаты проведенного исследования могут быть использованы в качестве поддержки принятия решений при ранжировании объектов защиты с разным уровнем пожарной безопасности по категории риска.

Таким образом, актуальная задача по применению риск-ориентированного подхода в управлении пожарной безопасностью требует наряду с оценкой пожарных рисков учитывать факторы, влияющие на реализацию комплекса противопожарных мероприятий, включая оценку их эффективности и затрат. В рамках решения задач поддержки управления пожарной безопасностью объектов защиты возникают ряд противоречий, в том числе, учёт ограничения стоимости комплекса противопожарных мероприятий и минимизация времени на их реализацию в целом [6-8]. Разработка инструментов поддержки принятия решений с целью устранения данного противоречия, включая создание информационных технологий, является основой реализации современных практико-ориентированных технологий управления пожарной безопасностью, рассматриваемой в единой системе с объектом защиты. На основе предыдущих работ [9, 10] в качестве базового варианта многокритериальной модели поддержки принятия решений рассматривается задача, включающая в себя три критерия, которые по содержательной сути практического применения должны соответствовать совокупности «результат – затраты – время».

Трехкритериальная модель в системе «Результат – Затраты – Время»

Общая многокритериальная модель, используемая для управления пожарной безопасностью на основе риск-ориентированного подхода,

предусматривает использование понятий относительной важности критериев, сформулированных в работе [11, 12]. Частная модель, предназначенная для алгоритмизации и программной реализации включает в себя следующие элементы (множества):

– множество (комплекс противопожарных мероприятий) управленческих решений по снижению пожарных рисков на объектах защиты (X):

$$X = \{X_1; \dots; X_s; \dots; X_n\}, s = 1, 2, \dots, n, n \geq 2; \quad (1)$$

– множество компонент исходного набора критерия – показатели, характеризующие возможность реализации множества управленческих решений (F):

$$F = \{K; L; M\}; \quad (2)$$

где K, L, M – нормализованные критерии выбора вариантов, область допустимых значений критериев $0 < \{K; L; M\} < 1$.

– множество (матрица) оценок по критериям комплекса противопожарных мероприятий (Q):

$$Q = \begin{Bmatrix} K(X_1) & L(X_1) & M(X_1) \\ K(X_{\dots}) & L(X_{\dots}) & M(X_{\dots}) \\ K(X_n) & L(X_n) & M(X_n) \end{Bmatrix}, n \geq 2, m = 3 \quad (3)$$

где строка матрицы Q является оценкой варианта; столбец – областью допустимых значений критерия;

– множество весовых коэффициентов важности критериев K, L, M соответственно (W):

$$W = \{w_K; w_L; w_M\}, \quad (4)$$

– множество коэффициентов относительной важности критериев (Θ)

$$\Theta = \begin{pmatrix} \theta_{KL} & \theta_{KM} \\ \theta_{LK} & \theta_{LM} \\ \theta_{MK} & \theta_{ML} \end{pmatrix} \quad (5)$$

где θ_{ij} – коэффициент относительной важности критерия i над критерием j .

Процедура управления пожарной безопасностью на основе риск-ориентированного подхода с учетом предпочтений ЛПР состоит из следующих этапов:

1. Распределение критериев по группам: (*A*) – более важные критерии; (*B*) – менее важные критерии. В случае набора критериев, состоящего из трех компонент, на практике может быть две ситуации, когда один критерий важнее многих; и когда многие важнее одного.

2. Модификация набора критериев (*F*) в новый набор критериев (*G*) с использованием коэффициентов относительной важности (*Θ*), определяемых на основе значений множества (*W*). Для описания формальных связей между тремя критериями удобно использовать связи в реляционной информационной модели: $(1 \rightarrow \infty)$ «один ко многим»; $(\infty \rightarrow 1)$ «многие к одному». Пусть каждому критерию из множества $F = \{F_1; F_2; \dots; F_m\}$, где $i = 1, 2, \dots, m$ – номера критериев в задаче принятия решений сопоставлено положительное число из множества $W = \{\omega_1; \omega_2; \dots; \omega_m\}$ характеризующее важность критерия, и сумма всех элементов множества *W* равна 1.

Утверждение 1 (один ко многим $(1 \rightarrow \infty)$). Пусть один из критериев, с номером *l*, является более важным по сравнению с другими и относится к группе «*A*». Тогда для расчёта относительного показателя важности критериев используется формула:

$$\theta_{l,d} = m \frac{\omega_d}{\omega_l}, \text{ где } \omega_l = \max_{\forall i, m} \omega_i. \quad (6)$$

Утверждение 2 (многие к одному $(\infty \rightarrow 1)$). Пусть один критерий с номером *l* является менее важным по сравнению с другими и относится к группе «*B*». Тогда для расчёта относительного показателя важности критериев используется формула:

$$\theta_{l,s} = (m - 1) \frac{\omega_s}{\omega_l} - 1, \text{ где } \omega_l = \min_{\forall j, m} \omega_j. \quad (7)$$

Предлагаемые утверждения позволяют полностью охватить ситуации распределения критериев в задачи теоретико-множественного анализа с тремя критериями, что удовлетворяет постановке задачи управления пожарными рисками с учетом реализации противопожарных мероприятий, направленных на их снижение.

Для этого в каждом укрупненном случае распределения критериев по группе может существовать по три комбинации. Формулы для расчета нового набора критериев представлены в таблице 1.

Таблица №1

Массив коэффициентов относительной важности (Θ)
и формулы для расчета нового наборов критериев (G)

Комбинация		Коэффициенты относительной важности Θ	Компоненты нового набора критериев G
Случай «Один ко многим»			
1	$A=\{K\};$ $B=\{L,M\}$	$\Theta_{KL} = 3 \frac{w_L}{w_K} \Theta_{KM} = 3 \frac{w_M}{w_K}$	1. K ; 2. $KL = \Theta_{KL} \cdot K + L$; 3. $KM = \Theta_{KM} \cdot K + M$.
2	$A=\{L\};$ $B=\{K,M\}$	$\Theta_{LK} = 3 \frac{w_K}{w_L} \Theta_{LM} = 3 \frac{w_M}{w_L}$	1. L ; 2. $LK = \Theta_{LK} \cdot L + K$; 3. $LM = \Theta_{LM} \cdot L + M$.
3	$A=\{M\};$ $B=\{K,L\}$	$\Theta_{MK} = 3 \frac{w_K}{w_M} \Theta_{ML} = 3 \frac{w_L}{w_M}$	1. M ; 2. $MK = \Theta_{MK} \cdot M + K$; 3. $ML = \Theta_{ML} \cdot M + L$.
Случай «Многие к одному»			
4	$A=\{K; L\};$ $B=\{M\}$	$\Theta_{KM} = 2 \frac{w_K}{w_M} \Theta_{LM} = 2 \frac{w_L}{w_M}$	1. K ; 2. L ; 3. $KM = K + \Theta_{KM} \cdot M$; 4. $LM = L + \Theta_{LM} \cdot M$.
5	$A=\{K; M\};$ $B=\{L\}$	$\Theta_{KL} = 2 \frac{w_K}{w_L} \Theta_{ML} = 2 \frac{w_M}{w_L}$	1. K ; 2. M ; 3. $KL = K + \Theta_{KL} \cdot L$; 4. $ML = M + \Theta_{ML} \cdot L$.

Комбинация		Коэффициенты относительной важности Θ	Компоненты нового набора критериев G
6	$A=\{L; M\};$ $B=\{K\}$	$\theta_{LK} = 2 \frac{w_L}{w_K} - 1$ $\theta_{MK} = 2 \frac{w_M}{w_K} - 1$	1. L ; 2. M ; 3. $LK = L + \theta_{LK} \cdot K$; 4. $MK = M + \theta_{MK} \cdot K$.

На основе нового набора критериев (G) и исходного множества вариантов (X) формируется модифицированная (новая) матрица оценок вариантов Q^* .

В таблице 2 представлены примеры модифицированных матриц оценок для шести типовых ситуаций в случае набора критерия F , включающего три критерия $\{K; L; M\}$.

Окончательный выбор рекомендуемых вариантов предлагается выбирать по принципу предложенному в работах В.Д. Ногина:

$$C \subset P(Q^*) \subset X. \quad (8)$$

где: C – множество рекомендуемых вариантов;

$P(Q^*)$ – множество Парето-оптимальных вариантов, полученных по матрице Q^* .

Схема разработанной методики многокритериального управления на основе риск-ориентированного подхода: в качестве исходных данных выступают множества X ; W ; F . На основе множеств X и F строится матрица оценок вариантов Q . Далее исходя из значений множества W элементы множества F распределяются по группам A и B , где A – более важные критерии, а B – менее важные. С учетом утверждений 1 и 2 на основе значений множества W для каждой пары элементов множеств A и B определяются коэффициенты, объединяемые во множество Θ (ситуации в случае мощности множества F равной 3 представлены в таблице 1), с использованием которых множество F преобразуется во множество G (см. таблицу 1). На основе

элементов множества G и X строится модифицированная матрица оценок Q^* (см. таблицу 2), с использованием которой строится множество $P(Q^*)$, элементы которого рекомендуются ЛПР для окончательного выбора при принятии решений.

Таблица №2

Типовые модифицированные матрицы оценок Q^*

Укрупненный случай «Один ко многим»											
Ситуация №1				Ситуация №2				Ситуация №3			
$\left\{ \begin{matrix} K(x_1) & KL(x_1) & KM(x_1) \\ K(x_{...}) & KL(x_{...}) & KM(x_{...}) \\ K(x_n) & KL(x_n) & KM(x_n) \end{matrix} \right\}$				$\left\{ \begin{matrix} L(x_1) & LK(x_1) & LM(x_1) \\ L(x_{...}) & LK(x_{...}) & LM(x_{...}) \\ L(x_n) & LK(x_n) & LM(x_n) \end{matrix} \right\}$				$\left\{ \begin{matrix} M(x_1) & MK(x_1) & ML(x_1) \\ M(x_{...}) & MK(x_{...}) & ML(x_{...}) \\ M(x_n) & MK(x_n) & ML(x_n) \end{matrix} \right\}$			
Укрупненный случай «Многие к одному»											
Ситуация №4						Ситуация №5					
$\left\{ \begin{matrix} K(x_1) & L(x_1) & KM(x_1) & LM(x_1) \\ K(x_{...}) & L(x_{...}) & KM(x_{...}) & LM(x_{...}) \\ K(x_n) & L(x_n) & KM(x_n) & LM(x_n) \end{matrix} \right\}$						$\left\{ \begin{matrix} K(x_1) & M(x_1) & KL(x_1) & ML(x_1) \\ K(x_{...}) & M(x_{...}) & KL(x_{...}) & ML(x_{...}) \\ K(x_n) & M(x_n) & KL(x_n) & ML(x_n) \end{matrix} \right\}$					
Ситуация №6											
$\left\{ \begin{matrix} L(x_1) & M(x_1) & LK(x_1) & MK(x_1) \\ L(x_{...}) & M(x_{...}) & LK(x_{...}) & MK(x_{...}) \\ L(x_n) & M(x_n) & LK(x_n) & MK(x_n) \end{matrix} \right\}$											

Пример. Рассмотрим пример применения процедуры управления на основе риск-ориентированного подхода в плоскости сформулированных критериев «результат – затраты – время».

Пусть имеется шесть вариантов комплекса противопожарных мероприятий для снижения пожарных рисков, при этом стоит отметить, что объект защиты отвечает требованиям безопасности в том смысле, что минимальное значение пожарного риска удовлетворяет требованиям законодательства.

Результат, реализации комплекса мероприятий, оценим как процент снижения пожарного риска ($\mathcal{O}$, %), затраты – стоимость реализации комплекса мероприятий (C , тыс. у.е.) и время – период времени, требуемый на реализацию комплекса противопожарных мероприятий. Модельные данные

для рассматриваемого тестового примера представлены в таблице 3.

Таблица №3

Исходные данные для расчета

Комплекс противопожарных мероприятий	Э, %	С, тыс. у.е.	Т, дней
X_1	2	19534,9	51
X_2	4	94285,7	15
X_3	12	187692,3	72
X_4	8	130000,0	22
X_5	9	115294,1	7
X_6	14	172682,9	37
Среднее значение	8	119915,0	34

Построим матрицу оценок по нормализованным критериям, используя нормализацию по среднему значению. В этом случае для «позитивного» критерия – предпочтения заданы, так «чем выше значение параметра, тем выше оценка по нормализованному критерию». Таким критерием является критерий K , который определяется на основе $\mathcal{E}$, %:

$$K(X_i) = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{\mathcal{E}(X_i)}{\delta(\mathcal{E})}\right)}, \quad (9)$$

где $\delta(\mathcal{E})$ – среднее значение параметра $\mathcal{E}$, по всему множеству X .

Например, для варианта X_2 получим:

$$K(X_2) = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{\mathcal{E}(X_2)}{\delta(\mathcal{E})}\right)} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{4}{8}\right)} = 0,33$$

Для негативного критерия предпочтения будут заданы иначе: «чем выше значение параметра, тем ниже оценка по нормализованному критерию». Такими критериями являются критерии L и M , которые определяются на основе C (тыс. у.е) и T (количество дней), соответственно.

$$L(X_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{C(X_i)}{\delta(C)}\right)}, \quad (10)$$

где $\delta(C)$ – среднее значение параметра C , по всему множеству X .

Оценка варианта X_2 по нормализованному критерию L будет равна:

$$L(X_2) = \frac{1}{1 + \left(\frac{C(X_2)}{\delta(C)}\right)} = \frac{1}{1 + \left(\frac{15}{34}\right)} = 0,56$$

Для нормализованного критерия M формула будет записана аналогично критерию L :

$$M(X_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{T(X_i)}{\delta(T)}\right)}, \quad (11)$$

где $\delta(T)$ – среднее значение параметра T по всему множеству X .

Оценка варианта X_2 по нормализованному критерию M будет равна:

$$M(X_2) = \frac{1}{1 + \left(\frac{T(X_2)}{\delta(T)}\right)} = \frac{1}{1 + \left(\frac{94285,7}{119915}\right)} = 0,69$$

Оценки по критериям $\{K; L; M\}$ для других вариантов рассчитаны аналогично варианту X_2 . Данные представлены в таблице 4.

Таблица №4

Матрица нормализованных оценок Q

Комплекс мероприятий	K	L	M
X_1	0,20	0,86	0,40
X_2	0,33	0,56	0,69
X_3	0,60	0,39	0,32
X_4	0,49	0,48	0,61
X_5	0,52	0,51	0,83
X_6	0,63	0,41	0,48

Информация о важности трех критериев $\{K; L; M\}$ задается путем заполнения матрицы парных сравнений D :

$$D = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 3 & 1 & \frac{3}{5} \\ 5 & \frac{5}{3} & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

где «1» – критерии « i » и « j » равны по важности; «3» – критерий « i » важнее критерия « j »; «5» – критерий « i » существенно важнее критерия « j », тогда множество W будет содержать следующие элементы: $\omega_K=0,12$; $\omega_L=0,33$; $\omega_M=0,55$.

Вариант «Один важнее многих»

Наиболее важным критерием определен критерий M ($\omega_M=0,55$), тогда $A=\{M\}$ менее важные $B=\{K; L\}$, что соответствует ситуации №3 из таблицы 1.

Коэффициенты относительной важности составят величины соответственно: $\theta_{MK}=0,65$; $\theta_{ML}=1,80$. Матрица новых оценок представлена в таблице 5.

Таблица №5

Матрица новых оценок Q^*

Комплекс мероприятий	MK	ML	M	$P\text{-}Opt$ (Парето-оптимальный)
X_1	0,46	1,58	0,4	-
X_2	0,78	1,8	0,69	-
X_3	0,81	0,97	0,32	-
X_4	0,89	1,58	0,61	-
X_5	1,06	2	0,83	+
X_6	0,94	1,27	0,48	-

Рекомендуемым для ЛПР вариантом является вариант $P(Q^*)=\{X_5\}$.

Вариант «Многие важнее одного»

Наименее важный критерий – это критерий K , так как ($\omega_K=0,12$), тогда $B=\{K\}$, а наиболее важные критерии это $A=\{L;M\}$, что соответствует ситуации №6 из таблицы 1. Коэффициенты относительной важности критериев составят величины: $\theta_{LK} = 4,5$; $\theta_{MK} = 8,2$. Новые оценки представлены в таблице 6.

Таблица №6

Матрица новых оценок Q^*

Комплекс мероприятий	L	M	LK	MK	$P\text{-}Opt$ (Парето-оптимальный)
X_1	0,86	0,40	1,76	2,04	+
X_2	0,56	0,69	2,05	3,40	+
X_3	0,39	0,32	3,09	5,24	-
X_4	0,48	0,61	2,69	4,63	-
X_5	0,51	0,83	2,85	5,09	+
X_6	0,41	0,48	3,25	5,65	+

Рекомендуемыми ЛПР являются варианты $P_G(X)=\{X_1; X_2; X_5; X_6\}$.

Рекомендации по практическому применению процедуры

Применение теоретико-множественного подхода к проблеме управления на основе рисков с одной стороны является классической задачей принятия решений, с другой стороны имеет свои особенности и реализуется на практике как проблемно-ориентированная технология управления. Особенность данной технологии управления заключается в том, что, используя опыт ранее принятых решений появляется возможность определить наиболее значимые критерии, улучшение значений которых в процессе поддержки принятия решений направлено на достижение конкретных результатов и целей системы управления пожарной безопасностью. Тогда принципиальная схема процедуры принятия решений будет являться

циклической (итеративной) и включать в себя набор последовательно реализуемых этапов:

1. Подготовительный (постановочный) этап: формирование множества вариантов – как правило здесь используются методы комбинаторной математики и множества критериев теории шкалирования.

2. Основной этап – отбор вариантов и выбор наиболее значимых критериев. На данном этапе как правило используются понятия оптимальных альтернатив, то есть оптимальные по Парето. Данный этап реализуется путем применения разработанного алгоритма многокритериального анализа пожарных рисков.

3. Заключительный этап – этап окончательного выбора, обоснование правила или принципов для окончательного выбора варианта комплекса противопожарных мероприятий. На данном этапе могут быть использованы принципы различного рода способов сведения нескольких критериев в один (свёртки критериев). Заключительный этап реализуется в том случае если на основном этапе методикой предлагает более одного варианта. То есть для случая из примера «Один важнее многих», где рекомендуемым является только один вариант X_5 реализация дополнительных процедур заключительного этапа не требуется.

4. Пост-заключительный этап – анализ результатов принятых решений для совершенствования процедур формализации задачи принятия решений, то есть изменение весов критериев.

Направления дальнейших исследований

С целью развития методологии управления пожарной безопасностью на основе риск-ориентированного подхода с учетом предпочтения ЛПР при

множестве критериев оценки комплекса противопожарных мероприятий сформулированы следующие направления дальнейших исследований:

1. Выполнить анализ возможных связей ситуаций важности критериев из укрупненных групп «один важнее многих» и «многие важнее одного».

2. Разработать процедуру расчета коэффициентов относительной важности критериев путем формализации опыта ранее принятых управленческих решений используя методы эволюционного поиска решений.

3. Предложить рекомендации и принципы окончательного выбора ЛПР одного из Парето-оптимальных вариантов управленческих решений, основываясь на оценках вариантов по модифицированным критериям.

4. Разработка специализированного программного обеспечения для автоматизации разработанной математической модели и алгоритмов с учетом предпочтения ЛПР, включающего в себя функции информационно-аналитического обеспечения поддержки принятия решений при выборе комплекса противопожарных мероприятий.

Литература

1. Фомин А.В., Мочалов В.П. Анализ методов управления пожарной безопасностью объектов защиты // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2011. – № 1. – С. 19-24.

2. Игайкина И.И., Шопина С.А. Методы управления пожарной безопасностью при эксплуатации объектов защиты // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию П. В. Сенина, Саранск, 22–23 ноября 2023 года. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2024. – С. 503-510.

3. Федорец А.Г. Основные направления совершенствования системы обеспечения пожарной безопасности на основе методологии управления пожарными рисками // Пожаровзрывобезопасность. – 2009. – Т. 18, № 9. – С. 22-30.

4. Зильберова И.Ю. Многокритериальная оценка вариантов проектных решений монтажа сооружений специального назначения в рамках строительно-технической экспертизы // Инженерный вестник Дона, 2022, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7576

5. Дали Ф.А. Концепция построения риск-ориентированных моделей управления пожароопасными событиями в социально-экономических системах. Часть 1 // Инженерный вестник Дона, 2021, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7238

6. Nystedt, F. On the Use of Risk Concepts in Fire Safety Engineering, 2018. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1107/4/042034/pdf

7. Quah, L. H. A multi-criteria generic process model for selecting fire protection system, 2012. URL: eprints.utm.my/33718/5/QuahLeeHuiMFAB2012.pdf

8. Хабибулин Р.Ш., Гудин С.В. Система поддержки управления пожарной безопасностью крупных производственных объектов нефтегазовой и нефтехимической отрасли // Безопасность в техносфере : сборник статей, Ижевск, 19 апреля 2016 года / Удмуртское региональное отделение Общероссийской общественной организации «Российское научное общество анализа риска»; ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет». Том Выпуск 10. – Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2016. – С. 69–73.

9. Хабибулин Р.Ш., Тараканов Д.В. Многокритериальный анализ пожарных рисков. Модель количественной важности рисков "один ко многим" // Технологии техносферной безопасности. 2023. № 3(101). С. 105–113.

10. Хабибулин Р.Ш., Тараканов, Д.В. Многокритериальный анализ пожарных рисков. Основные модели относительной важности рисков // Безопасность и мониторинг природных и техногенных систем: материалы и доклады / VIII Всероссийская конференция (Красноярск, 16–20 октября 2023 года); научн. ред. В.В. Москвичев. – Новосибирск: ФИЦ ИВТ, 2023. – 302 с.
11. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с.
12. Ногин В.Д. Комбинированный подход к сужению множества Парето с использованием линейной и мультипликативной сверток критериев // Искусственный интеллект и принятие решений, 2016, № 2. С. 70–77.

References

1. Fomin A.V., Mochalov V.P. Nauchno-analiticheskiy zhurnal "Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii". 2011. № 1. pp. 19-24.
2. Igaykina I.I., Shopina S.A. Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. posvyashchennoy 70-letiyu P. V. Senina. Saransk. 22–23 noyabrya 2023 goda. Saransk: Natsionalnyy issledovatel'skiy Mordovskiy gosudarstvennyy universitet im. N.P. Ogareva. 2024. pp. 503-510.
3. Fedorets A.G. Pozharovzryvobezopasnost. 2009. T. 18. № 9. pp. 22-30.
4. Zilberova I.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 4. pp. 380-387.
5. Dali F.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 10. pp. 130-139.
6. Nystedt, F. On the Use of Risk Concepts in Fire Safety Engineering, 2018. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1107/4/042034/pdf
7. Quah, L. H. A multi-criteria generic process model for selecting fire protection system, 2012. URL: eprints.utm.my/33718/5/QuahLeeHuiMFAB2012.pdf

8. Khabibulin R.Sh., Gudin S.V. Bezopasnost v tekhnosfere: sbornik statey. Izhevsk. 19-aprelya 2016 goda. Udmurtskoye regionalnoye otdeleniye Obshcherossiyskoy obshchestvennoy organizatsii «Rossiyskoye nauchnoye obshchestvo analiza riska»; FGBOU VPO «Udmurtskiy gosudarstvennyy universitet». Tom Vypusk 10. Izhevsk: Izhevskiy institut kompyuternykh issledovaniy. 2016. pp. 69–73.

9. Khabibulin R.Sh., Tarakanov D.V. Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. 2023. № 3(101). p. 105–113.

10. Khabibulin. R.Sh., Tarakanov. D.V. Bezopasnost i monitoring prirodnykh i tekhnogennykh sistem: materialy i doklady. VIII Vserossiyskaya konferentsiya (Krasnoyarsk. 16–20 oktyabrya 2023 goda); nauchn.red. V.V. Moskvichev. Novosibirsk: FITs IVT. 2023. 302 p.

11. Podinovskiy V.V., Nogin V.D. Pareto-optimalnyye resheniya mnogokriterialnykh zadach [Pareto-optimal solutions to multi-criteria problems]. 2-e izd.. ispr. i dop. M.: FIZMATLIT. 2007. 256 p.

12. Nogin V.D. Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy. 2016. № 2. pp. 70–77.

Дата поступления: 27.03.2025

Дата публикации: 3.06.2025