

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕОРЕТИКО- МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫМИ РИСКАМИ

Р.Ш. Хабибулин

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России
Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкин, 4
E-mail: r.habibulin@academygps.ru

Д.В. Тараканов

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России
Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкин, 4
E-mail: d.tarakanov@academygps.ru

Ключевые слова: теоретико-множественная модель, пожарный риск, теория управления, системы поддержки принятия решений.

Аннотация: В работе рассматривается постановка концептуальной комплексной теоретико-множественной модели управления пожарными рисками. Проведен краткий обзор теоретико-множественного подхода (ТМП) в управлении рисками и безопасностью в целом. Сформулирована постановка задачи теоретико-множественного описания системы управления пожарными рисками. Разработана математическая модель управления пожарными рисками на основе теории множеств, приведена ее графическая интерпретация.

1. Введение

Методы, модели и алгоритмы управления пожарными рисками на объектах защиты, а также специализированное программное обеспечение (СПО) для их реализации являются крайне актуальным предметом исследования в области управления пожарной безопасностью на современном этапе развития методологии управления в сфере комплексной безопасности. С позиции теории управления пожарные риски в большинстве исследований рассматриваются как целевые функции, а задача управления сводится к минимизации значений данных функций. Применяя теорию пожарных рисков к задачам развития систем обеспечения пожарной безопасности (далее СОПБ) сложных пожароопасных объектов защиты возникает существенное противоречие, включающее в себя ряд важных задач управления, а именно: учёт ограничения стоимости достаточно разнообразного комплекса противопожарных мероприятий и минимизация времени на их реализацию в рамках проектируемых СОПБ [1, 2]. Наличие данного противоречия обосновывает создание практико-ориентированной технологии управления (далее ПОТУ) в СОПБ. Решение данного противоречия через разработку комплекса эффективных моделей и алгоритмов управления позволит на этапах планирования развития СОПБ определять необходимые материально-технические и временные ресурсы с учетом достаточно жестких требований технических регламентов, стандартов и сводов правил в сфере безопасности.

2. Краткий обзор теоретико-множественного подхода в управлении безопасностью в целом

В работе [3] рассмотрено определение понятия технологической безопасности с теоретико-множественной точки зрения. Показана необходимость применения теоретико-множественного подхода к исследованию свойств технологической безопасности на основе бинарных отношений. Приведен обзор основных операций и отношений на множествах, формирующих оценку безопасности. Показано, что с точки зрения практического применения при анализе безопасности технологических процессов необходимым этапом исследования является теоретико-множественный анализ опасностей, позволяющий более качественно структурировать опасности. Полученная структура опасностей может являться основой перечня мероприятий, разрабатываемых для диагностики внештатных ситуаций и управления технологической безопасностью рассматриваемого объекта.

В работе [4] на основе применения теоретико-множественного подхода предложено формализованное описание информационной системы, созданной в соответствии с основными принципами архитектуры безопасности. Предложено описание угрозы в виде кортежа, приводится оценка числа путей распространения угроз, анализируется возможность идентификации атаки по индикаторам аномальных событий на пути распространения.

В работе [5] предложен подход к постановке и решению некоторых задач по размещению оборудования видеонаблюдения на основе теоретико-множественного описания его важнейших пространственных характеристик. Решение этих задач позволяет повысить качество размещения оборудования видеонаблюдения и необходимой инженерной инфраструктуры с учетом реального размещения как самих видеокамер и наблюдаемых объектов, так и с учетом препятствий.

В работе [6] показано, что анализ устойчивости функционирования информационной структуры интегрированной системы безопасности в условиях негативных воздействий изначально производится на основе разработки модели информационного взаимодействия элементов информационных структур интегрированной системы безопасности и негативных воздействий, которая построена на основе теоретико-множественного подхода, позволяющего не только описать особенности построения элементов рассматриваемых структур, но и осуществить формализацию процесса функционирования моделей систем безопасности в виде построения дискретной (матрично-векторной) модели, отличающейся классификациями совокупности угроз.

3. Постановка задачи теоретико-множественного описания системы управления пожарными рисками

Общая теоретико-множественная модель (многокритериальная модель), используемая для анализа пожарных рисков, предусматривает использование понятий относительной важности критериев, сформулированных в работе [8] В.Д. Ногиним, и включает в себя следующие элементы (множества):

– множество управленческих решений по развитию системы противопожарной защиты объектов различного функционального назначения:

$$X_n = \{x_1, \dots, x_s, \dots, x_n\}, s = 1, 2, \dots, n, n \geq 2;$$

– множество компонент исходного векторного критерия – показатели, характеризующие возможность реализации анализируемых рисков:

$$F_m = \{f_1, \dots, f_k, \dots, f_m\}, k = 1, 2, \dots, m, m \geq 2;$$

– множество (матрица) векторных оценок управленческих решений:

$$F_m(X) = \{F_m(x_1), \dots, F_m(x_s), \dots, F_m(x_n)\}, n \geq 2, m \geq 2,$$

где $F_m(x_s) = \{f_1(x_s), \dots, f_k(x_s), \dots, f_m(x_s)\}$ – векторная оценка варианта x_s ;

– множество парето-оптимальных вариантов управленческих решений:

$$P_f(X) = \{x^* \in X | \text{не существует такого } x \in X, \text{ что } F_m(x) \geq F_m(x^*)\}$$

– множество коэффициентов важности компонент векторного критерия:

$$\Theta_m = \{\Theta_1, \dots, \Theta_k, \dots, \Theta_m\}, k = 1, 2, \dots, m, m \geq 2;$$

– множество компонент нового векторного критерия – показатели, рассчитываемые на основе исходного векторного критерия (F_m) с учётом информации о важности (Θ_m) рисков:

$$G_p = \{g_1, \dots, g_r, \dots, g_p\}, r = 1, 2, \dots, p, p \geq m.$$

– множество (матрица) новых векторных оценок управленческих решений:

$$G_p(X) = \{G_p(x_1), \dots, G_p(x_s), \dots, G_p(x_n)\},$$

где $G_p(x_s) = \{g_1(x_s), \dots, g_k(x_s), \dots, g_p(x_s)\}$ – новая векторная оценка варианта x_s

– множество новых парето-оптимальных вариантов управленческих решений:

$$P_g(X) = \{x^* \in X | \text{не существует такого } x \in X, \text{ что } G_p(x) \geq G_p(x^*)\}$$

– множество рекомендуемых вариантов управленческих решений по В.Д. Ногину $C(X)$:

$$C(X) \subset P_g(X) \subset P_f(X) \subset X.$$

Для применения данной теоретической модели на практике необходима дополнительная информация об относительной важности критериев, а также процедуры учета данной информации в процессе модификации исходного векторного критерия F_m в новый векторный критерий G_p .

Однако, при реализации данной теоретико-множественной модели возникает практический вопрос и теоретический интерес по процедуре анализа коэффициентов относительной важности критериев.

В работе [8] автор, определяя относительную важность критериев распределяет критерии по группам: A – более важные критерии; B – менее важные критерии. Стоит отметить, что в рассматриваемой постановке задачи критерии, отнесённые к группе B являются менее важными по сравнению с критериями из группы A , но все ещё остаются значимыми с точки зрения выбора конкретной альтернативы управленческого решения.

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.

Утверждение 1 (один ко многим $(1 \rightarrow \infty)$) [1]. Пусть каждому критерию в задаче принятия решений сопоставлено положительное число ω_i где i – номер, совпадающий с номером критерия, $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$. Пусть один критерий является наиболее важной по сравнению с другими и относится к группе «А». Введем новую нумерацию для критериев из группы «В», $d = 1, \dots, b$.

Тогда для расчёта относительного показателя важности критериев:

$$\Theta_d = m \frac{\omega_d}{\omega_l}, \text{ где } \omega_l = \max_{i,m} \omega_i.$$

Утверждение 2 (многие к одному $(\infty \rightarrow 1)$). Пусть каждому критерию в задаче принятия решений сопоставлено положительное число ω_i , где i – номер, совпадающий с номером критерия, $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$. Пусть один критерий является менее важным по сравнению с другими и относится к группе «В». Введем новую нумерацию для критериев из группы «А», $s = 1, \dots, a$.

Тогда для расчёта относительного показателя важности критериев:

$$\Theta_s = (m - 1) \frac{\omega_s}{\omega_l} - 1, \text{ где } \omega_l = \min_{j,m} \omega_j.$$

Предлагаемые утверждения позволяют, полностью охватить ситуации распределения критериев в задачи теоретико-множественного анализа с тремя критериями, что удовлетворяет поставке задачи анализа пожарных рисков.

Пример.

Пусть имеется матрица векторных оценок 3-х управленческих решений по трем критериям, характеризующих соответствующие пожарные риски. Требуется выбрать предпочтительные варианты управленческого решения (таблица 1).

Таблица 1. Нормализованные векторные оценки управленческих решений.

	f_1	f_2	f_3
$F(x_1)$	0,3	0,5	0,9
$F(x_2)$	0,8	0,5	0,2
$F(x_3)$	0,5	0,3	0,5

Пусть, как в примере [1], D – информация о важности трех критериев. Данная информация задана путем заполнения матрицы парных сравнений:

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 3/5 \\ 5 & 5/3 & 1 \end{pmatrix},$$

где «1» – критерии « P » и « V » равны по важности; «3» – критерий « P » важнее критерия « V »; «5» – критерий « P » существенно важнее критерия « V ».

Утверждение 1 ($1 \rightarrow \infty$). Исходные данные: $\omega_1=0,12$; $\omega_2=0,33$; $\omega_3=0,55$ очевидно, что в группу «А» более важных критериев входит критерий f_3 , а в группу «В» менее важных критериев критерии f_1 и f_2 , то есть $d=1,2$. Определим коэффициенты относительной важности критериев f_1 и f_2 по отношению к f_3 .

$$\Theta_1 = \frac{m \cdot \omega_1}{\omega_3} = \frac{3 \cdot 0,12}{0,55} = 0,65;$$

$$\Theta_2 = \frac{m \cdot \omega_2}{\omega_3} = \frac{3 \cdot 0,33}{0,55} = 1,8.$$

В таблице 2 представлены новые векторные оценки управленческих решений, полученных с помощью следующего способа модификации векторного критерия F в новый векторный критерий G : $g_1=f_3$; $g_2=\Theta_1 \cdot f_1+f_3$; $g_3=\Theta_2 \cdot f_2+f_3$.

Таблица 2. Новые векторные оценки управленческих решений.

	g_1	g_2	g_3
$G(x_1)$	0,9	1,10	1,80
$G(x_2)$	0,2	0,72	1,10
$G(x_3)$	0,5	0,83	1,04

Случай важности ($\infty \rightarrow 1$). Исходные данные: $\omega_1=0,12$; $\omega_2=0,33$; $\omega_3=0,55$ очевидно, что в группу «А» более важных критериев входит критерий f_3 и f_2 а в группу «В» менее важных критериев f_1 , то есть $s=2,3$. Определим коэффициенты относительной важности критериев f_2 и f_3 по отношению к f_1 .

$$\Theta_2 = (m - 1) \frac{\omega_2}{\omega_3} - 1 = 2 \frac{0,33}{0,12} - 1 = 4,5;$$

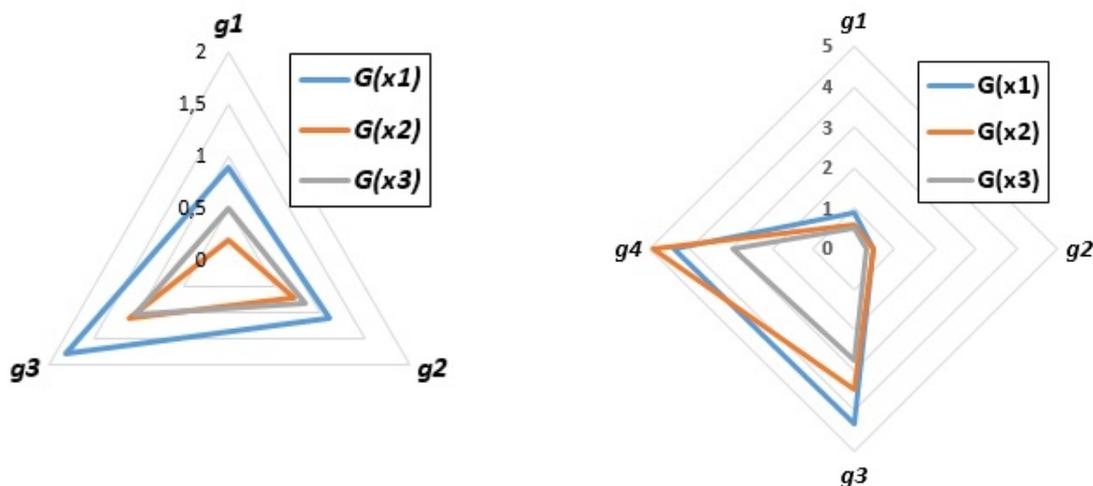
$$\Theta_3 = (m - 1) \frac{\omega_3}{\omega_1} - 1 = 2 \frac{0,55}{0,12} - 1 = 8,2.$$

В таблице 3 представлены новые векторные оценки, а новый векторный критерий G рассчитан так: $g_1=f_3$; $g_2=f_2$; $g_3= \Theta_2 \cdot f_2 + f_1$; $g_4= \Theta_3 \cdot f_3 + f_1$.

Таблица 3. Новые векторные оценки управленческих решений.

	g_1	g_2	g_3	g_4
$G(x_1)$	0,9	0,5	4,35	4,40
$G(x_2)$	0,6	0,5	3,50	4,90
$G(x_3)$	0,5	0,3	2,75	2,96

Анализируя данные на рис. 1, можно сделать вывод, что, используя информацию об относительной важности, формализованную с использованием разработанных утверждений в первом случае выбран вариант x_1 , во втором варианте x_1 и x_2 . Этот факт говорит о более существенном сужении границ выбора в первом случае и менее существенном во втором.



Утверждение 1
(один ко многим ($1 \rightarrow \infty$)).

Утверждение 2
(многие к одному ($\infty \rightarrow 1$)).

Рис. 1. Диаграммы новых векторных оценок управленческих решений.

4. Заключение

Применение теоретико-множественного подхода к проблеме анализа пожарных 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. Тогда принципиальная схема процедуры принятия решений будет являться циклической и включать в себя набор последовательно реализуемых этапов.

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Тоичкин Н.А., Палюх Б.В., Богатиков В.Н. и др. О применении теоретико-множественного подхода при определении понятия технологической безопасности // Программные продукты, системы и алгоритмы. 2014. № 4. С. 5.
4. Машкина И.В. Идентификация угроз на основе построения семантической модели информационной системы // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2008. Т. 11, № 1. С. 208-214. EDN JXECFL.
5. Брекоткина Е.С., Гузаиров М.Б., Павлов С.В. и др. Информационная поддержка управления уязвимостью сложных распределенных систем на основе обработки пространственной информации // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8, № 2(29).
6. Исаев О.В., Душкин А.В., Зольников В.К. и др. Анализ устойчивости функционирования информационной структуры интегрированной системы безопасности в условиях негативных воздействий // Промышленные АСУ и контроллеры. 2017. № 10. С. 52-60. EDN ZWBFXD.
7. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 256 с.
8. 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.