

УДК 004.514

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.33.2.020](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.33.2.020)

## Алгоритмы кластер-идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности

Д.Е. Орлова<sup>1</sup>, П.С. Куприенко<sup>2</sup>, И.В. Фурсов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Воронежский институт ФСИН России, Воронеж, Российская Федерация*

<sup>2</sup>*Воронежский государственный технический университет,  
Воронеж, Российская Федерация*

**Резюме:** Рассматривается задача кластер-идентификации ситуаций, возникающих в процессе обеспечения техногенной и пожарной безопасности. Отнесение ситуации к классу проводится путем его сравнения с типичными элементами разных классов и выбора ближайшего. Для этого вводится мера близости классов, которая зависит от того в каком виде задаются признаки ситуаций. В том случае, когда эти признаки выражаются детерминированными величинами, в качестве меры близости ситуаций используется квадрат евклидова расстояния между векторами значений признаков (чем меньше расстояние – тем ближе ситуации). Соответствующее определение признаков типичной ситуации – среднее арифметическое значение признаков по выборке, представляющей класс ситуации. Когда признаки задаются вероятностными величинами, мерой близости служит обобщенная по признакам вероятность идентификации угрожающей, критической и катастрофической ситуаций. В случае, когда признаки ситуации задаются на понятийных шкалах для решения задачи предложено использовать аппарат семантических сетей, а под процессом идентификации ситуаций понимать многошаговый процесс, включающий: а) концептуализацию задачи; б) генерацию вариантов решения; в) оценку и ранжирование вариантов решений; г) выбор предпочтительного варианта решения. Такое понимание процесса идентификации ситуаций наиболее полно отражает структуру интеллектуальной деятельности человека и позволяет перейти к формализации указанных операций на основе использования аппарата семантических сетей.

**Ключевые слова:** техногенная и пожарная безопасность, ситуация, кластер-идентификация, признак, алгоритм.

**Для цитирования:** Орлова Д.Е., Куприенко П.С., Фурсов И.В. Алгоритмы кластер-идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(2). Доступно по: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=985> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.020

## Algorithms for cluster-identification of emergencies in the management of technogenic and fire safety processes

D.E. Orlova<sup>1</sup>, P.S. Kuprienko<sup>2</sup>, I.V. Fursov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, Russian Federation.*

<sup>2</sup>*Voronezh State Technical University,  
Voronezh, Russian Federation.*

**Abstract:** The problem of cluster-identification of emergencies in the processes of ensuring technogenic and fire safety management is considered. The assignment of a situation to a class is carried out by comparing it with typical elements of different ranks and selecting the nearest one. To do this, a measure of class proximity, which depends on the form in which the signs of situations are set, is introduced. Alternatively, these features are expressed in deterministic quantities the square of the Euclidean distance between the vectors of feature values is used as a measure of the proximity of situations (the

smaller space, the closer the cases are). The corresponding definition of the features of a typical case is the arithmetic mean of the features in the sample representing the class of the situation. When the features are set by probabilistic values, the measure of proximity is the generalized probability of identifying threatening, critical, and catastrophic situations. When the situation signs are set on conceptual scales, it is proposed to use the semantic networks apparatus to solve the problem. The process of identifying situations is understood as a multi-step, that includes: a) conceptualization of the problem; b) generation of solution options; c) evaluation and ranking of solutions; d) selection of the preferred solution. This understanding of the process of identifying situations most fully reflects the structure of human intellectual activity. This understanding of the process of identifying cases most fully reflects the human intellectual activity structure and enables one to proceed to the formalization of these operations based on the use of the apparatus of semantic networks.

**Keywords:** technogenic and fire safety, emergency, cluster-identification, feature, algorithm.

**For citation:** Orlova D.E., Kuprienko P.S., Fursov I.V. Algorithms for Cluster-Identification of Situations in the management of Technogenic and Fire Safety Processes Available from: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=985> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.020 (In Russ).

## Введение

Кластер-идентификация – это комплексное научное направление, объектами изучения которого являются сущности социальной, физической, экономической и иной природы, обладающие набором разнообразных признаков, а предметом – методы, алгоритмы и программные средства, позволяющие на основании общности признаков разделить определенный набор сущностей на схожие группы (кластеры) [3, 4].

От обычной идентификации по заданным признакам кластер-идентификация рядом особенностей. Во-первых, она ориентирована на обработку большого объема признаков, определенных, как на числовых, так и понятийных шкалах. Во-вторых, выделяемые кластеры могут иметь достаточно сложную иерархическую (древовидную) структуру. В-третьих, при проведении кластер-идентификации не алгоритм, а человек выявляет и модифицирует критерии кластеризации данных. По этой причине задачи, решаемые методами кластер-идентификации, относят к классу «обучения без учителя». В-четвертых, кластер-идентификация базируется на практически не ограниченном арсенале методов и алгоритмов, заимствованных из других научных направлений: теории вероятностей и математической статистики, теории распознавания образов, теории оптимизации и принятия решений, теории нечетких множеств и логико-лингвистического моделирования. В-пятых, для практической реализации кластер-идентификации в виде алгоритмов и программных средств используется различный инструментарий, начиная с логико-детерминированного и вероятностно-статистического, и, заканчивая, аппаратом нейронных сетей.

В настоящее время кластер-анализ широко используется в биологии, психологии, медицине, химии, маркетинге и многих других проблемных областях науки и практики [8]. Вместе с тем при решении задач идентификации ситуаций, возникающих в процессе обеспечения техногенной и пожарной безопасности, этот метод пока не получил должного развития. Цель статьи заключается в том, чтобы показать возможность использования методов кластер-идентификации для идентификации ситуаций, возникающих при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности.

### Детерминированный вариант кластер-идентификации

Пусть  $\{x\}$  – детерминированные векторы значений признаков ситуаций. С каждым классом ситуации будем связывать его типичный объект – ядро класса с признаками  $\{a\}$ . Введем меру их близости ситуаций -  $\rho(x, a)$  [5]:

$$\rho(x, a) = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i (x_i - a_i)^2}; \left( \sum_{i=1}^n v_i = 1 \right), \quad (1)$$

где  $n$  – количество признаков;  $v_i$  – относительные веса признаков.

Для определенности примем, что чем ближе ситуации друг к другу, тем меньше  $\rho$ . Требуется определить такое разбиение  $\{x\} = X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_S$ , при которых выполняется критерий:

$$Q = \sum_{i=1}^S \xi_i D_i \rightarrow \min, \quad (2)$$

где для каждого ( $i$ -го) класса  $D_i$  – сумма расстояний от принадлежащих ему точек выборки до ядра класса, определяемая выражением  $D_i = \sum_{x^p \in Y_i} \rho(x, a)$ ;  $\xi_i$  – коэффициенты относительной важности признаков ситуации  $\left( \sum_i \xi_i = 1 \right)$ .

Поиск таких параметров целесообразно осуществлять итерационным путем, разделив вычисления на два этапа. На первом этапе ищется разбиение  $\{x\} = X_1 \cup \dots \cup X_S$ , удовлетворяющее (2). При этом используется следующий критерий:

$$\left[ d(x, a_i) < d(x, a_j) \right]_{i \neq j} \rightarrow (x \in X_i). \quad (3)$$

В том случае, когда для  $x$  минимум  $d(x, a)$  достигается при нескольких значениях  $i$ , выбор между ними делается произвольно. На втором этапе для каждого  $S_i$ , полученного на первом этапе, ищутся  $\{a_i\} \in A$ , удовлетворяющие критерию (3). Затем возвращаемся к первому этапу и повторяем вычисления при новых исходных данных. Такой циклический процесс повторяется до тех пор, пока разбиение  $\{x\} = X_1 \cup \dots \cup X_S$  будет постоянным. В том случае, если добиться этого не удастся, производится пополнение признаков ситуаций и процесс повторяется.

Практическая реализация детерминированного варианта кластер-идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности выглядит следующим образом. Пусть ситуация, характеризуется вектором

числовых признаков  $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N)$ , где  $x_i = \frac{\chi_i^{\max} - \chi_i}{\chi_i^{\max} - \chi_i^{\min}}$  для признаков

ориентированных на максимум;  $x_i = \frac{\chi_i - \chi_i^{\min}}{\chi_i^{\max} - \chi_i^{\min}}$  для признаков ориентированных на

минимум,  $\chi_i^{\max}, \chi_i^{\min}$ , минимально и максимально возможные значения ненормированных признаков  $\chi_i$ .

Для определенности все типы возможных ситуаций, возникающих при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности, разделим на классы: угрожающая, критическая и катастрофическая, а по каждому признаку  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) зададим пределы его изменения в соответствии с классами ситуаций:

$$x_i = \begin{cases} \text{"угрожающая", если } (0 < x_i \leq x_i^1); \\ \text{"критическая", если } (x_i^1 < x_i \leq x_i^2); \\ \text{"катастрофическая", если } (x_i^2 < x_i \leq x_i^3), \end{cases} \quad (4)$$

где  $x_i^1$  – максимально допустимое штатное значение признака  $x_i$ ;  $x_i^2$  – максимально допустимое угрожающее значение признака  $x_i$ ;  $x_i^3$  – максимально допустимое критическое значение признака  $x_i$ .

Тогда идентификацию ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности, можно осуществлять, руководствуясь следующими критериями:

- если все признаки  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) находятся в пределах  $(0 < x_i \leq x_i^1)$ , то ситуация однозначно относится к классу угрожающей ( $S^1$ )

$$\forall_{i=\overline{1, N}} (0 < x_i \leq x_i^1) \rightarrow S^1; \quad (5)$$

- если все признаки  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) находятся в пределах  $(x_i^1 < x_i \leq x_i^2)$ , то ситуация однозначно относится к классу критической ( $S^2$ )

$$\forall_{i=\overline{1, N}} (x_i^1 < x_i \leq x_i^2) \rightarrow S^2; \quad (6)$$

- если все признаки  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) находятся в пределах  $(x_i^2 < x_i \leq x_i^3)$ , то ситуация однозначно относится к классу катастрофической ( $S^3$ )

$$\forall_{i=\overline{1, N}} (x_i^2 < x_i \leq x_i^3) \rightarrow S^3. \quad (7)$$

Как показывает анализ, особенностью идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности, является то, что условия (5)-(7) зачастую не выполняются. Происходит это в силу значительного разброса и пересечения признаков  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ). В результате, идентифицируемая ситуация не может быть однозначно отнесена к какому-либо одному из выделенных классов. Возникают так называемые смешанные ситуации, когда по некоторым признакам они относятся к одному классу, а по другим признакам к другому классу. В этом случае проблема идентификации ситуации остается за лицом, принимающим решение. При этом для в качестве ориентировки ему выдаются оценки нормированной интегральной близости идентифицируемой ситуации к угрожающей ( $\rho_1$ ), критической, ( $\rho_2$ ) и катастрофической ( $\rho_3$ ), рассчитываемые по формулам:

$$\rho_1 = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N v_i (x_i - x_i^1)^2}; \quad (8)$$

$$\rho_2 = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N v_i (x_i - x_i^2)^2}; \quad (9)$$

$$\rho_3 = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N v_i (x_i - x_i^3)^2}; \quad (10)$$

где  $v_i \left[ \sum_{i=1}^N v_i = 1 \right]$  – экспертные коэффициенты важности параметров  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ).

Разработанный на основе приведенных выше теоретических положений, алгоритм идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности по детерминированным признакам представлен на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Алгоритм идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности по детерминированным признакам  
 Figure 1 – Algorithm for identifying situations when managing the processes of ensuring technogenic and fire safety based on deterministic features

В соответствии с этим алгоритмом расчеты проводятся пошагово.

Шаг 1. Подготовка исходных данных. Формирование векторов  $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ , их предельных значений  $x_i^k$  ( $k = \overline{1, 4}$ ), коэффициентов  $v_i$ .

Шаг 2. Нормировка признаков ситуаций.

Шаг 3. Идентификация ситуаций по формулам (5)-(7). В том случае, когда условия (5)-(7) выполняются, осуществляется переход к шагу 5. В противном случае – к шагу 4.

Шаг 4. Оценка нормированной интегральной близости идентифицируемой ситуации к угрожающей, критической или катастрофической по формулам (8)-(10).

Шаг 5. Вывод расчетных данных и представление их лицу, принимающему решение.

Пример выходного интерфейса алгоритма идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности по детерминированным признакам представлен на Рисунке 2.

КЛАСС СИТУАЦИИ	РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ	
	ОДНОЗНАЧНО	СМЕШАННО
КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ	+	0,5
УГРОЖАЮЩАЯ	-	0,3
КРИТИЧЕСКАЯ	-	0,2

Рисунок 2 – Выходной интерфейс алгоритма идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности по детерминированным признакам

Figure 2 – Output interface of the algorithm for identifying situations in the management of technogenic and fire safety processes based on deterministic features

Его отличительная черта заключается в том, что в качестве исходных данных и внутренних переменных используются числовые детерминированные величины, а решающее правило разделения ситуаций на классы строится на основе логических выражений. Алгоритм позволяет провести анализ признаков ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности и отнести их к одному из классов: штатная, угрожающая, критическая. В том случае, когда, в силу значительного разброса признаков, характеризующих ситуацию, такая идентификация

не представляется возможной, алгоритм дает интегральную оценку близости идентифицируемой ситуации к указанным классам.

### Вероятностный вариант кластер-идентификации

В этом случае реализация вероятностного варианта алгоритма идентификации ситуаций выглядит следующим образом [7]. Пусть ситуации, возникающие при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности, характеризуется вектором признаков

$$\langle p_1(x_1), p_2(x_2), \dots, p_i(x_i), \dots, p_N(x_N) \rangle, \quad (11)$$

где  $p_i(x_i)$  – плотности распределения вероятности значений признаков  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ).

На практике, как правило, используется нормальный закон распределения вероятностей  $p_i(x_i)$ , согласно которому  $p_i(x_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - m_i)^2}{2(\sigma_i)^2}}$

где  $m_i$  – математическое ожидание признака  $x_i$ , а  $\sigma_i$  – среднее квадратичное отклонение. Таким образом, вместо (11) для описания ситуаций получаем два вектора:

$$\langle m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_N \rangle; \langle \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i, \dots, \sigma_N \rangle. \quad (12)$$

Все типы ситуаций, как и ранее, разделим на классы: угрожающая, критическая, катастрофическая, а по каждому признаку  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) зададим пределы его изменения в соответствие с классами ситуаций. Тогда идентификацию ситуаций по каждому признаку  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) можно осуществлять, используя следующую формулу:

$$P_i^k = \int_o^{x_i^k} p_i(x_i) dx_i; (k = \overline{1, 3}; i = \overline{1, N}), \quad (13)$$

где  $P_i^k$  ( $k = \overline{1, 3}$ ) – вероятности того, что при заданном распределении плотностей  $p_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) ситуация по признаку  $x_i$  будет отнесена к угрожающей ( $k = 1$ ), критической ( $k = 2$ ) или к катастрофической ( $k = 3$ ) ситуации.

В итоге получается матрица  $\|P_i^k\| (i = \overline{1, N}; k = \overline{1, 3})$  размерностью  $(3 \times N)$ , компоненты которой характеризуют ситуации по каждому отдельно взятому признаку  $x_i$ , причем  $\sum_{i=1}^N P_i^k = 1; k = \overline{1, 3}$ . Следуя положениям теории принятия решений [17], для

обобщенной идентификации ситуаций следует использовать три подхода: усредненный, оптимистический и пессимистический. Такая трех аспектная идентификация дается для того, чтобы, с одной стороны, обеспечить лицо, принимающее решение, как можно большим объемом исходной информации, а, с другой стороны, предоставить ему аргументы для мотивированного заключения о характере чрезвычайной ситуации. В соответствие с усредненным подходом расчет обобщенных вероятностей идентификации угрожающей ( $P_{UG}$ ), критической ( $P_{KR}$ ) и катастрофической ( $P_{KT}$ ) ситуаций осуществляется по формулам:

$$P_{UG} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i P_i^1; P_{KR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i P_i^2; P_{KT} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i P_i^3, \quad (14)$$

где  $v_i \left( \sum_{i=1}^N v_i = 1 \right)$  - экспертные коэффициенты важности признаков  $x_i (i = \overline{1, N})$ .

При оптимистическом подходе расчет обобщенных вероятностей идентификации ситуаций осуществляется по формулам:

$$P_{UG} = \max_{i(i=\overline{1, N})} (v_i P_i^1); P_{KR} = \max_{i(i=\overline{1, N})} (v_i P_i^2); P_{KT} = \max_{i(i=\overline{1, N})} (v_i P_i^3). \quad (15)$$

При пессимистическом подходе расчет обобщенных вероятностей идентификации ситуаций осуществляется по формулам:

$$P_{UG} = \min_{i(i=\overline{1, N})} (v_i P_i^1); P_{KR} = \min_{i(i=\overline{1, N})} (v_i P_i^2); P_{KT} = \min_{i(i=\overline{1, N})} (v_i P_i^3). \quad (16)$$

Разработанный на основе приведенных выше теоретических положений, алгоритм идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности по вероятностным признакам представлен на Рисунке 3.



Рисунок 3 – Алгоритм идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности по вероятностным признакам  
 Figure 3 – Algorithm for identifying situations in the management of technogenic and fire safety processes based on probabilistic features

В соответствии с этим алгоритмом расчеты проводятся пошагово.

Шаг 1. Подготовка исходных данных. Формирование векторов (10), их предельных значений  $x_i^k (k = \overline{1, 4})$ , коэффициентов  $v_i$ .

Шаг 2. Идентификация ситуаций по каждому признаку  $x_i (i = \overline{1, N})$  с использованием формул (11).

Шаг 3. Обобщенная идентификация ситуаций по всем параметрам  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) с использованием формул (12)-(14).

Шаг 4. Вывод расчетных данных и представление их лицу, принимающему решение. Пример выходного интерфейса представлен на Рисунке 4.

КЛАСС СИТУАЦИИ	РЕЗУЛЬТАТЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ		
	усредненная	оптимистическая	пессимистическая
КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ	0,1	<b>0,5</b>	0,1
УГРОЖАЮЩАЯ	<b>0,6</b>	0,3	0,3
КРИТИЧЕСКАЯ	0,15	0,2	<b>0,4</b>

← Назад

Рисунок 4 – Выходной интерфейс алгоритма идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности по вероятностным признакам

Figure 4 – Output interface of the algorithm for identifying situations in the management of technogenic and fire safety processes based on probabilistic features

Основное преимущество данного алгоритма перед детерминированным алгоритмом идентификации заключается в том, что в нем учитывается вероятностный характер признаков идентификации ситуаций.

### Логико-лингвистический вариант кластер-идентификации

В этом случае для решения задачи идентификации ситуаций предлагается использовать аппарат семантических сетей [1, 6, 11], а под процессом идентификации ситуаций понимать многошаговый процесс, включающий: а) концептуализацию задачи; б) генерацию вариантов решения; в) оценку и ранжирование вариантов решений; г) выбор предпочтительного варианта решения [9]. Такое понимание процесса идентификации ситуаций наиболее полно отражает структуру интеллектуальной деятельности человека и позволяет перейти к формализации указанных операций на основе использования аппарата семантических сетей.

*Концептуализация задачи* – это первый и наиболее ответственный шаг идентификации ситуаций. Его суть заключается в определении компонентов идентификации, то есть тех параметров, значения которых должны быть определены по

результатам идентификации. На языке семантических сетей такое понимание концептуализации означает, что должны быть определены следующие компоненты: 1) термины сети  $X_i (i = \overline{1, M})$  – признаки идентифицируемых ситуаций; 2) возможные значения термов  $x_j^i (i = \overline{1, M}; j = \overline{1, N_i})$ ; 3) критерии, на основании которых предполагается осуществляться идентификацию ситуаций.

*Генерация вариантов решения* предполагает формирование вариантов описания идентифицируемых ситуаций. Для этого предметную область, в рамках которой предполагается идентификация ситуаций, будем описывать многоярусной семантической сетью следующего вида:

$$\left[ (X_1) r (x_1^1 \vee, \dots, \vee x_{N_1}^1) \right] \wedge \dots \wedge \left[ (X_i) r (x_1^i \vee, \dots, \vee x_{N_i}^i) \right] \wedge \dots \wedge \left[ (X_M) r (x_1^M \vee, \dots, \vee x_{N_M}^M) \right], \quad (17)$$

где  $r$  – отношение «принимать значение».

Эта сеть для  $i$ -го яруса читается следующим образом: «терм  $X_i$ , принадлежащий ярусу  $i$ , принимает одно из  $N_i$  значений:  $x_1^i$  или  $x_2^i$  или, ..., или  $x_{N_i}^i$ ».

Таким образом, для формализованного описания понятия «ситуация» вводится  $M$  ярусная семантическая сеть, каждый ярус которой соответствуют одному из термов  $X_i (i = \overline{1, M})$ , а сами термы могут принимать по одному из  $N_i (i = \overline{1, M})$  лингвистических (понятийных значений).

Для генерации вариантов описания идентифицируемых ситуаций с помощью введенной сети введем ряд определений.

*Определение 1.* Любое синтаксически правильное выражение на семантической сети (15), выражающее какое-либо осмысленное утверждение, назовем синтагмой.

Примерами синтагм могут служить выражения  $(X_1 r_2 x_1^1) \wedge (X_3 r_2 x_2^3)$  или  $(X_1 r_2 x_2^1) \wedge [X_5 r_2 (x_1^5 \vee x_2^5 \vee x_3^5)]$ .

*Определение 2.* Семантическую сеть (15), на каждом ярусе которой отсутствуют знаки « $\vee$ », назовем полной синтагмой.

Иными словами, полная синтагма – это часть семантической сети, выделенная из нее путем назначения конкретных значений термов  $X_i (i = \overline{1, M})$ . Очевидно, что каждой полной синтагме  $S_k [k = 1, \dots, (N_1 \times N_2 \times \dots \times N_5)]$  соответствует один из возможных вариантов идентифицируемых ситуаций  $S_i$ , описанный в объеме введенных термов и их значений.

*Определение 3.* Запрещенной назовем синтагму, в которой имеются недопустимые сочетания значений термов  $X_i (i = \overline{1, M})$ .

Недопустимость значений термов будем задавать матрицами вида  $\|\lambda_{ij}^{km}\|$ , где  $\lambda_{ij}^{km} = 1$ , если  $i$ -е значение  $k$ -го терма несовместимо с  $j$ -м значением  $m$ -го терма, и  $\lambda_{ij}^{km} = 0$  в противном случае. Иными словами, единичное значение компоненты матрицы  $\|\lambda_{ij}^{km}\|$  означает, что, если  $k$ -й терм принимает  $i$ -е значение, то  $m$ -й терм не может принимать  $j$ -е значение. При этом обратное утверждение не справедливо.

*Определение 4.* Допустимыми назовем полные синтагмы, в которых нет запрещенных синтагм.

С учетом введенных определений, допустимыми будут все варианты идентифицируемых ситуаций, описываемые сетью вида (19), в полных синтагмах которой, отсутствуют запрещенные простые синтагмы. Отсюда следует, что корректная реализация операции генерация альтернатив, как начальной стадии решения задачи идентификации ситуаций, фактически сводится к поиску допустимых полных синтагм в выражении (15).

*Оценка и ранжирование альтернатив.* Для реализации этой операции введем величину  $\rho(S_k, S_m)$ , характеризующую степень близости двух ситуаций  $S_k$  и  $S_m$ , определенных на сети (19), определив ее следующим образом:

$$\rho(S_k, S_m) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (1 - \Delta_i^{km}), \quad (18)$$

где  $\Delta_i^{km} = \begin{cases} 1 - \text{если } x_k^i = x_m^i, \\ 0 - \text{если } x_k^i \neq x_m^i. \end{cases}$

Введенная мера (16) имеет достаточно простой смысл: чем меньше несовпадающих значений одноименных термов, тем в меньшей отличаются соответствующие этим термам ситуации. И, наоборот, чем больше несовпадающих значений одноименных термов, тем в большей мере отличаются ситуации. Нетрудно видеть, что такая мера удовлетворяет четырем аксиомам метрики. Действительно:  $\rho(S_k, S_m) > 0$ ;  $(S_k = S_m) \rightarrow [\rho(S_k, S_m) = 0]$ ,  $\rho(S_k, S_m) = \rho(S_m, S_k)$ ;  $\rho(S_k, S_z) + \rho(S_z, S_m) \geq \rho(S_k, S_m)$ .

С учетом введенной меры (16) из всех ситуаций  $S$  наиболее близкой к некоторой эталонной ситуации будет та, у которого меньше величина  $\rho(S, E)$ . Тогда для ранжирования идентифицируемых ситуаций по степени их близости к эталонной ситуации целесообразно ввести следующее правило:

- первый (высший) ранг присваивается решению из числа допустимых, заданному полной синтагмой  $R_k$ , которое ближе всех находится к некоторому эталонному решению, заданному полной синтагмой  $E$ , или формально

$$R_I = \text{Arg} \min_{R_k \in P_{dop}} \rho(R_k, E), \quad (17)$$

где  $R_{dop}$  – множество допустимых полных синтагм;

- второй ранг присваивается решению из числа оставшихся, которое ближе всех находится к тому же эталону:

$$R_{II} = \text{Arg} \min_{R_k \in (P_{dop} - R_I)} \rho(R_k, E); \quad (20)$$

-  $Q$ -й ранг присваивается решению из числа оставшихся, которое ближе всех находится к тому же эталону:

$$R_Q = \text{Arg} \min_{R_k \in [P_{dop} - (R_I + \dots + R_{Q-1})]} \rho(R_k, E). \quad (21)$$

Эталонное решение  $E$  формулируется исходя из: а) имеющегося опыта решения подобных задач; б) в соответствии с указаниями, содержащимися в решении старшего руководителя; в) на основе использования положений регламентирующих документов.

*Выбор альтернатив.* В случае, когда есть одно эталонное решение –  $E$ , выбор альтернативы очевиден: лучшим  $R^*$  считается решение с наивысшим рангом  $R_q (q = \overline{1, Q})$ , то есть

$$R^* = \text{Arg} \min_{R_q = \overline{1, Q}} R_q. \quad (22)$$

Однако наибольший интерес представляют ситуации выбора альтернатив при нескольких эталонах  $E_1, \dots, E_H$ , когда вместо одного оптимального решения  $R^*$ , имеем матрицу ранжированных решений  $\|R_{qj}^*\|$ , где  $q$  – ранг решения  $q = \overline{1, Q}$ ,  $j$  – номер эталонного решения ( $j = \overline{1, H}$ ). В этом случае для выбора оптимального решения  $R^{**}$  из множества  $R_{qj}^*$  можно использовать следующие общеизвестные критерии [9], которые применительно к нашему случаю имеют следующий вид:

1. Критерий Вальда – «рассчитывай на худшее»:

$$R^* = \text{Arg} \min_{j=1, H} \left( \min_{q=1, Q} R_{qj} \right). \quad (23)$$

2. Критерий Сэвиджа – «рассчитывай на лучшее»:

$$R^* = \text{Arg} \max_{j=1, H} \left( \min_{q=1, Q} R_{qj} \right). \quad (24)$$

3. Критерий Лапласа – «ориентируйся на среднее»:

$$R^* = \text{Arg} \max_{j=1, H} \left( \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q R_{qj} \right). \quad (25)$$

4. Критерий Гурвица – «исходи из компромисса»:

$$R^* = \text{Arg} \left[ \alpha \min_{j=1, H} \left( \min_{q=1, Q} R_{qj} \right) + (1 - \alpha) \max_{j=1, H} \left( \min_{q=1, Q} R_{qj} \right) \right], \quad (26)$$

где  $\alpha = \overline{0, 1}$  – коэффициент компромисса.

Изложенные выше теоретические положения позволили разработать алгоритм идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности по понятийным признакам. Укрупненная блок-схема такого алгоритма представлена на рисунке 5. Согласно этому алгоритму, расчеты проводятся пошагово.

Шаг 1. Концептуализация задачи, состоящая в подготовке исходных данных относительно: термов сети  $X_i (i = \overline{1, M})$ , возможные значения термов  $x_j^i (i = \overline{1, M}; j = \overline{1, N_i})$ , критериев, на основании которых предполагается осуществляться выбор предпочтительного варианта решения; связей между термами сети; области допустимых значений термов; содержания эталонных решений  $E$ .

Шаг 2. Генерация альтернативных вариантов решений путем поиска допустимых полных синтагм в выражении (15). При этом полнота генерации обеспечивается полным перебором всех термов сети и их возможных значений.

Шаг 3. Оценка альтернативных вариантов решений и их ранжирование по отношению к эталонам.

Шаг 4. Выбор предпочтительной альтернативы с использованием критериев Вальда, Сэвиджа, Лапласа или Гурвица.

Шаг 5. Оформление результатов расчетов и представление их пользователю.

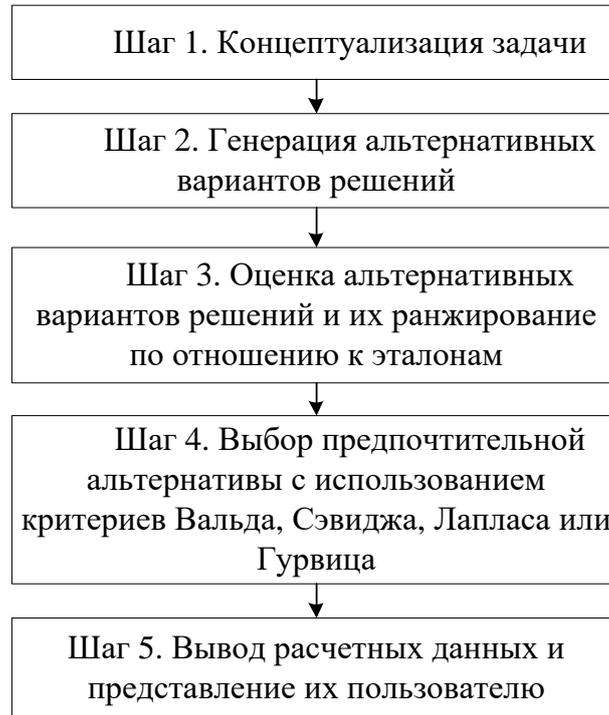


Рисунок 5 – Алгоритм идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности по понятийным признакам  
Figure 5 – Algorithm for identifying situations in the management of technogenic and fire safety processes based on conceptual features

С точки зрения создания математико-программного инструментария интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности можно выделить три неоспоримых преимущества аппарата семантических сетей. Во-первых, семантические сети обеспечивают быструю обработку информации, что дает возможность расширить набор аналитических операций, выполняемых в реальном режиме времени. Во-вторых, аппарат семантических сетей ориентирован на обработку не только количественных, но главным образом понятийных данных. Именно такие данные характерны для описания процессов принятия управленческих решений в организационных системах. В-третьих, семантическим сетям свойственна однородность, проявляющаяся в составе и конструкции элементов сети. Это обеспечивает возможность построения компьютерных моделей на базе однотипных программных средств, что существенно ускоряет процесс их проектирования и реализации.

### Заключение

При разработке алгоритмов кластер-идентификации ситуаций при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности учтен тот факт, что признаки ситуаций могут выражаться как количественными величинами (детерминированными и вероятностными), так и понятийными категориями. В том случае, когда эти признаки выражаются детерминированными величинами, в качестве меры близости ситуаций предложено использовать евклидово расстояния между

значениями признаков текущей ситуации и признаками ядра кластера. Когда признаки задаются вероятностными величинами, мерой близости служит обобщенная по признакам вероятность идентификации угрожающей, критической и катастрофической ситуаций. В случае, когда признаки задаются понятийными категориями, для описания ситуаций предложено использовать семантическую сеть специального вида, вершины которой соответствуют названиям признаков, а дуги – их значениям.

Основное отличие данных алгоритмов от известных алгоритмов данного класса заключается в том, что в комплексе они ориентированы на использование не только числовых (детерминированных и вероятностных), но и понятийных признаков идентификации чрезвычайных ситуаций, что характерно при управлении процессами обеспечения техногенной и пожарной безопасности [2, 10].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкин А.Н., Батыршин И.З. и др. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта*. Под ред. Д.А. Пospelова. М.: Наука. 1986:312.
2. Архипова Н.И., Кульба В.В. *Управление в чрезвычайных ситуациях*. М.: РГГУ. 2008:480.
3. *Классификация и кластер*. Под ред. Дж. Вэн Райзина. М.: Мир. 1980:390.
4. Мандель И.Д. *Кластерный анализ*. М.: Финансы и статистика. 1988:176.
5. Кочедыков С.С., Ноев А.Н., Орлова Д.Е. Детерминированные методы диагностирования кризисных ситуаций в АСУ критического назначения. *Вестник Воронежского института ФСИИ России*. 2017;1:86-89.
6. Орлова Д.Е., Падалко А.В. Использование аппарата семантических сетей для интеллектуальной поддержки принятия решений. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2021;1(36):61-66.
7. Орлова Д.Е., Фурсов И.В. Вероятностно-статистический алгоритм идентификации чрезвычайных ситуаций. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2021;2(37):56-64.
8. Хайдуков Д.С. *Применение кластерного анализа в государственном управлении*. Философия математики: актуальные проблемы. М.: МАКС-Пресс. 2009:287.
9. Эддоус М., Стэнфилд Р. *Методы принятия решений*. Пер. с англ. М.: Аудит. 1997:590.
10. Габричидзе Т.Г., Фомин П.М., Янников И.М. Создание территориальной комплексной многоступенчатой системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биологосоциального характера на территории Самарской области. *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. Академика С.П. Королева*. 2008;2(15):272-280.
11. Dash, Sujata, Tripathy, B.K., Rahman, Atta ur. «Handbook of Research on Modeling, Analysis, and Application of Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms». IGI Global, 2017, ISBN 1-5225-2858-X, 9781522528586. P.302 «Fuzzy Sets Fuzzy set was first introduced in the year 1965 by Lotfi A. Zadeh and Dieter Klaua».

## REFERENCES

1. Averkin A.N., Batyrshin I.Z. and others. *Fuzzy sets in control and artificial intelligence models*. Ed. by D.A. Pospelov. M.: Nauka. 1986:312.
2. Arkhipova N.I., Kulba V.V. *Management in emergency situations*. Moscow: RSUH, 2008:480.
3. *Classification and cluster*. Ed. by J. Van Raizin. M.: Mir. 1980:390.

4. Mandel I.D. *Cluster analysis*. M.: Finance and Statistics. 1988:176.
5. Kochedykov S.S., Noev A.N., Orlova D.E. Deterministic methods of diagnosing crisis situations in critical control systems. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia*. 2017;1:86-89.
6. Orlova D.E., Padalko A.V. The use of the apparatus of semantic networks for intellectual decision-making support. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2021;1(36):61-66.
7. Orlova D.E., Fursov I.V. Probabilistic-statistical algorithm for identifying emergency situations. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2021;2(37):56-64.
8. Khaydukov D.S. Application of cluster analysis in public administration. *Philosophy of Mathematics: actual problems*. Moscow: MAKS-Press. 2009:287.
9. Eddous M., Stansfield R. *Methods of decision-making*. Trans. from English. M.: Audit. 1997:590.
10. Gabrichidze T.G., Fomin P.M., Yannikov I.M. Creation of a territorial complex multi-stage system for monitoring and forecasting emergency situations of a natural, technogenic and biologosocial nature on the territory of the Samara region. *Bulletin of the Samara State Aerospace University. Academician S.P. Korolev*. 2008;2(15):272-280.
11. Dash, Sujata, Tripathy, B.K., Rahman, Atta ur. «Handbook of Research on Modeling, Analysis, and Application of Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms». IGI Global, 2017, ISBN 1-5225-2858-X, 9781522528586. P.302 «Fuzzy Sets Fuzzy set was first introduced in the year 1965 by Lotfi A. Zadeh and Dieter Klaua».

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATIONS ABOUT AUTHORS

**Орлова Дарья Евгеньевна**, адъюнкт Воронежский институт ФСИН России, Воронеж, Российская Федерация.  
*e-mail:* [dasha\\_scorobogat@mail.ru](mailto:dasha_scorobogat@mail.ru)

**Darya E. Orlova**, associate Professor, Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh, Russian Federation.

**Фурсов Илья Вадимович**, аспирант, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.  
*e-mail:* [cva57@yandex.ru](mailto:cva57@yandex.ru)

**Ilya V. Fursov**, post-graduate student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

**Куприенко Павел Сергеевич**, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой техносферной и пожарной безопасности, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.  
*e-mail:* [cva57@yandex.ru](mailto:cva57@yandex.ru)

**Pavel S. Kuprienko**, doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.