

2. Совершенствование организационных структур промышленных предприятий / А.С. Казарновский [и др.]. Киев: Наукова думка, 1981. 187 с.
3. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето, оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.

МЕТОД РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ПРИРОДНОЙ И ТЕХНОГЕННОЙ СФЕРАХ

**Т.А. Подружкина, кандидат педагогических наук;
М.И. Гвоздик, кандидат технических наук, профессор.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены различные аспекты обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. Для разработки моделей поддержки принятия решений предлагается использовать подход, базирующийся на объединении современных моделей представления знаний о слабо структурируемой предметной области в виде нечеткой иерархии и моделей принятия решений, основанных на теории нечетких множеств, нечеткой логике, нечеткой математике.

Ключевые слова: модели принятия решений, нечеткие множества, чрезвычайные ситуации, аспекты обеспечения безопасности

THE METHOD OF MODELING DECISION MAKING IN THE FIELD OF RISK ANALYSIS AND MANAGEMENT IN THE FIELDS OF NATURAL AND OF TECHNOGENIC

T.A. Podrzhkina; M.I. Gvozdik.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article considers various aspects of the security of human life. For modeling decision support is proposed to use an approach based on a combination of modern models of knowledge representation of poorly structured domain in the form of fuzzy hierarchy and decision-making models based on the theory of fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy mathematics.

Keywords: models of decision making, fuzzy sets, emergencies, security aspects

В статье члена Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации Ю.Л. Воробьева [1] рассмотрены различные аспекты обеспечения безопасности жизнедеятельности человека, для решения которых необходимы совместные, комплексные, скоординированные усилия людей, общества, власти, общественных организаций и научных сообществ. Рассмотрены роль и задачи Экспертного совета МЧС России, призванного осуществлять экспертную поддержку управления при подготовке и принятии решений на ведение работ по предупреждению чрезвычайных ситуаций или спасению людей и защите территорий, когда штатных ресурсов МЧС России недостаточно, и требуются дополнительные консультации.

Необходимым элементом экспертной поддержки прогноза развития чрезвычайных ситуаций, а также анализа мер по их предотвращению являются модели поддержки принятия решений при выборе наиболее эффективных альтернатив развития и методов их обеспечения ресурсами, моделей прогноза результатов тех или иных решений с возможностью быстрой адаптации в условия изменяющихся целей, ресурсов и временных

ограничений. Большинство моделей не описываются с помощью формальных математических методов, основанных на точном и адекватном описании проблемных ситуаций, анализе и выработке механизма управления. Они характеризуются большим числом влияющих факторов, неопределённостью, нечёткостью данных.

Для разработки моделей поддержки принятия решений предлагается использовать подход, базирующийся на объединении современных моделей представления знаний о слабо структурируемой предметной области в виде нечёткой иерархии и моделей принятия решений, основанных на теории нечётких множеств, нечёткой логике, нечёткой математике.

Известно, что если элементы системы могут группироваться в несвязные множества, то лучшим описанием системы является иерархия, поэтому в качестве модели слабо структурированной предметной области принимается нечёткая иерархия.

Построение модели предметной области осуществляется путём структурной декомпозиции рассматриваемой ситуации. Определённые цели нижележащего уровня иерархии есть средства для достижения целей вышестоящего уровня. Для нижележащих по отношению к ним уровней они являются целями. Основные принципы практического построения указанных моделей можно представить следующим образом [2].

На множестве объектов ситуации $Z=\{1, \dots, N\}$ определяется ориентированный граф $G_r=(Z,W)$ без контуров с множеством вершин Z , совпадающих с множеством объектов и множеством дуг W . Наличие дуги $(i,j) \in W$ означает, что вес z_i объекта (вершины) i непосредственно зависит от веса z_j объекта j . Граф G_r имеет структуру дерева целей и задач, если его вершины можно расположить на непересекающихся уровнях V_1, \dots, V_M так, что дуги графа соединяют только вершины смежных уровней, причём дуги ведут сверху вниз, с уровня V_i на уровень V_{i+1} , $i=1, \dots, M-1$; все вершины, из которых дуги не выходят, находятся на уровне V_M . Построение иерархии оканчивается уровнем листовых критериев k_1, \dots, k_n , то есть таких критериев, которые являются не декомпозируемыми в рамках конкретного исследования и для каждого из которых можно построить шкалу.

Методологической основой базовой модели принятия решения может быть принят метод сводных показателей, описанный А.Н. Крыловым еще в 1908 г. Наиболее распространённые методы оценки функционирования сложных систем и принятия решений являются интерпретацией метода сводных показателей и сводятся к выполнению последовательности шагов.

1. Для фиксированного качества и заданного множества объектов, каждому из которых соответствует определённая градация интенсивности проявления исследуемого качества, формируется вектор $x=(x_1, x_2, \dots, x_m)$ *исходных характеристик*, однозначно определяющий общую оценку интенсивности проявления фиксированного качества.

2. По вектору исходных характеристик $x=(x_1, \dots, x_m)$ формируется вектор числовых *отдельных показателей* исследуемого качества $q=(q_1, \dots, q_m)$, где отдельный показатель q_i оценивает соответствующий аспект исследуемого качества (то есть отдельный показатель q_i оценивает качество с точки зрения i -го *отдельного критерия*, а сам вектор $q=(q_1, \dots, q_m)$ есть *многокритериальная оценка* исследуемого качества.

3. Выбирается вид параметрической *агрегирующей функции* $Q(q; w)$, определяемой вектором $w=(w_1, \dots, w_m)$ параметров w_1, \dots, w_m , оценивающих значимость отдельных показателей q_1, \dots, q_m для сводной оценки качества $Q=Q(q; w)$.

4. Определяются значения весовых коэффициентов w_1, \dots, w_m , подстановка которых в параметрическую агрегирующую функцию делает эту функцию однозначно определённой и позволяет построить *сводный показатель* $Q^{(j)}=Q(q^{(j)}; w)$ качества j -го объекта, описываемого вектором $q^{(j)}=(q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$ значений отдельных показателей.

Приведённая схема метода построения сводного (глобального, интегрального, обобщённого и т.п.) показателя $Q=Q(q; w)$, агрегирующего отдельные показатели q_1, \dots, q_m , является универсальной структурой, все элементы которой проявляются в той или иной степени во всех математических методах оценки сложных объектов. Для оценки состояния

системы в рамках предлагаемого подхода приведённая схема должна учитывать ряд особенностей:

- иерархическая структура требований;
- элементы (нижний уровень иерархии) оцениваются по известным методикам, включая оценки экспертами с помощью лингвистических переменных;
- процедура определения весов важности показателей должна проводиться для каждого яруса иерархической структуры требований с учётом взаимосвязи элементов различных ярусов;
- вид параметрической *агрегирующей функции*, или свёртка, должен выбираться по определённым правилам для каждого уровня иерархии.

Для измерения физических значений количественных признаков нижнего уровня иерархии используются: абсолютная шкала, шкала отношений, шкала интервалов и шкала разностей. Для измерения качественных признаков используются шкала наименований и порядковая (ранговая) шкала.

Оценки, полученные в результате исследования, могут быть адекватны реальности тогда и только тогда, когда они не зависят от того, какую единицу измерения предпочитает эксперт, то есть эти выводы должны быть инвариантны относительно допустимого преобразования значений, измеренного в той или иной шкале признака.

В практике оценивания качественных и количественных признаков эксперты часто используют вербальные шкалы. В вербальных шкалах значениями являются слова, выражающие степень интенсивности проявления признаков и называемые уровнями или градациями вербальных шкал. Интерес представляют вербальные шкалы, на которых можно определить линейный порядок, то есть отношение «меньше-больше».

При известной области определения количественного признака и количества уровней вербальной шкалы эксперт разбивает эту область на непересекающиеся множества, которые соответствуют заданным вербальным уровням. При таком подходе есть существенный недостаток – при описании объектов с пограничными значениями показателя эксперт испытывает трудности в связи со скачкообразным переходом от одного значения к другому.

Предложенный Л. Заде аппарат теории нечётких множеств позволяет устранить этот недостаток. Для этого вербальным уровням количественного признака ставятся в соответствие не чёткие интервалы значений, а нечёткие множества. Такая вербально-нечёткая шкала описания количественных признаков получила название лингвистической шкалы [3, 4]. При этом количественный признак имеет физические значения, измеренные техническим прибором, и лингвистические значения, полученные экспертом с определённой степенью уверенности в этом.

Построенные на основе теории нечётких множеств лингвистические шкалы для качественных признаков позволяют оперировать не со значениями несопоставимых между собой, оценённых в разных шкалах и имеющих разные размерности признаков, а с безразмерными величинами – значениями функций принадлежности.

В литературе [3–5] описано большое количество методов построения функций принадлежности нечётких множеств, терм-множеств семантических пространств и построения логико-лингвистических шкал в зависимости от вида задачи принятия решения.

В литературе [3, 4] описан метод построения функции принадлежности, который работает в условиях неполной информации, инвариантен относительно последовательности построения функций принадлежности элементов шкал, используемых для оценивания качественных характеристик.

Пусть имеются данные, полученные в результате оценивания у объектов качественной характеристики X в рамках вербальной шкалы с уровнями $X_l, l = \overline{1, m}, m \geq 2$. Упорядочим их по возрастанию интенсивности проявления. Обозначим относительные частоты появления объектов, у которых интенсивность проявления X оценена уровнями $X_l, l = \overline{1, m}$, соответственно через $a_l, l = \overline{1, m}, \sum_{l=1}^m a_l = 1$. Обозначим $\min(a_1, a_2)$ через b_1 ,

$\min(a_{l-1}, a_l, a_{l+1}), l = \overline{2, m-2}$ через $b_l, l = \overline{2, m-2}$, а $\min(a_{m-1}, a_m)$ через b_{m-1} . Тогда функции принадлежности будут иметь вид (1):

$$\begin{aligned} \mu_1(x) &\equiv \left(0, a_1 - \frac{b_1}{2}, 0, b_1\right); \\ \mu_l(x) &\equiv \left(\sum_{i=1}^{l-1} a_i + \frac{b_{l-1}}{2}, \sum_{i=1}^l a_i + \frac{b_l}{2}, b_{l-1}, b_l\right), \quad l = \overline{2, m-2}; \\ \mu_{m-1}(x) &\equiv \left(\sum_{i=1}^{m-2} a_i + \frac{b_{m-2}}{2}, 1 - a_m - \frac{b_{m-1}}{2}, b_{m-2}, b_{m-1}\right); \\ \mu_m(x) &\equiv \left(1 - a_m - \frac{b_{m-1}}{2}, 1 - a_m + \frac{b_{m-1}}{2}, b_{m-1}, 0\right). \end{aligned} \quad (1)$$

Метод позволяет определить соответствие элементов балльной и лингвистической шкал, позволяет находить нечёткие, точечные, интервальные рейтинговые оценки и присваивать квалификационные уровни с определённым уровнем возможности.

Выбор вида параметрической *агрегирующей функции* $Q(q; w)$, определяемой вектором $w = (w_1, \dots, w_m)$ параметров w_1, \dots, w_m , оценивающих значимость отдельных показателей q_1, \dots, q_m для сводной оценки качества $Q = Q(q; w)$, является сложной задачей, так как существует большое количество агрегирующих функций. Наиболее распространёнными являются нечёткое продукционное оценивание, матричные процедуры комплексного оценивания и различные модификации метода анализа иерархий Т. Саати [6].

Для реализации процедуры нечёткого продукционного оценивания показателей предлагается использовать алгоритм нечёткого логического вывода, позволяющий формировать адекватные оценочные модели на основе математической модели нечёткого логического вывода по Мамдани. Выбор модели нечёткого логического вывода обосновывается его большой распространённостью в практических приложениях, прозрачностью самого вывода и лёгкостью настроек параметров, хотя известно достаточное количество и других методов [4–5].

Нечёткий вывод в своей основе имеет базу знаний, формируемую экспертами в виде совокупности нечётких предикатных правил:

$$П_i: \text{если } x \text{ есть } A_i, \text{ тогда } z \text{ есть } B_i,$$

где x – входная переменная; z – переменная вывода; A_i и B_i – нечёткие множества, определённые соответственно на X и Z с помощью функций принадлежности $\mu_{A_i}(x)$ и $\mu_{B_i}(z)$, $i = \overline{1, 2, \dots, n}$.

Механизм нечёткого вывода при аппроксимации функции $z(x)$ представляют в виде нечёткого *modus ponens*.

Указанный вывод в форме алгоритма Мамдани математически описывается следующим образом:

1. Введение нечёткости (fuzzi fication) – для заданного (чёткого) значения аргумента $x = x_0$ находятся степени истинности для предпосылок каждого правила $a_i = \mu_{A_i}(x_0)$.

2. Нечёткий вывод по каждому правилу – находятся «усечённые» функции принадлежности для переменной вывода:

$$\mu_{B_i}^*(z) = \min_z (a_i, \mu_{B_i}(z)) .$$

3. Композиция – с использованием операции максимум (max) производится объединение найденных усечённых функций, что приводит к получению итогового нечёткого подмножества для переменной вывода с функцией принадлежности:

$$\mu_{\Sigma}(z) = \mu_B(z) = \max_z [\mu_{B_1}^*(z), \mu_{B_2}^*(z), \dots, \mu_{B_o}^*(z)] .$$

4. Приведение к чёткости (defuzzification) для нахождения $z_0=F(x_0)$ обычно проводится центроидным методом – чёткое значение выходной переменной определяется как центр тяжести для кривой $\mu_{\Sigma}(z)$, то есть

$$z_0 = \frac{\int_{\Omega} z \cdot \mu_{\Sigma}(z) dz}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(z) dz} ,$$

где Ω – область определения $\mu_{\Sigma}(z)$.

Суть матричных процедур комплексного оценивания заключается в том, что имеется набор частных показателей, измеряемых в дискретной шкале, которые сворачиваются попарно, а агрегированные значения определяются так называемыми матрицами свёртки.

Особенностью матричных свёрток является то, что любая произвольная свёртка двух критериев на дискретном множестве может быть представлена в матричном виде, что позволяет тонко учесть знания эксперта. Заполнение матрицы свёртки является инструментом реализации и формализации определённой политики принятия решений при оценивании.

Качество оценки, прежде всего, зависит от качества матриц свёртки и в меньшей степени от экспертных оценок значений частных критериев.

Матричная система комплексного оценивания может быть обобщена до нечёткой матричной системы. Если для матрицы свёртки на соответствующих шкалах заданы функции принадлежности μ_{x1} и μ_{x2} для нечётких оценок по первому и второму критериям X_1 и X_2 соответственно, то в результате агрегирования по матрице свёртки нечёткая оценка будет определяться функцией принадлежности:

$$\mu_{x0}(X_0) = \sup_{\{(x_1, x_2) | F(x_1, x_2) =$$

Общая структура агрегирования отдельных критериев в комплексную оценку имеет вид дихотомического дерева, узлами которого являются описанные выше матрицы свёртки.

Преобразование произвольной иерархии в дихотомию неизбежно приводит к появлению дополнительных промежуточных критериев оценки на различных уровнях иерархии свёртки исходных критериев и требует построения дополнительных матриц свёртки. Следует отметить, что появление дополнительных промежуточных критериев позволяет более тонко учесть знания и опыт эксперта по оценке взаимовлияния сворачиваемых критериев при составлении матрицы свёртки, чем присвоение некоторых «весов» важности или определение ранжира.

Построение дихотомической структуры производится экспертами, исходя из следующих соображений. Вначале определяется m_i – общее количество критериев нижнего уровня, сворачиваемых в данном критерии. В рассматриваемой системе критериев оценки СЗИ АС это число колеблется от 2 до 8. Если $m_i=2$, то задача тривиальна. Если $m_i=3$, то возможно три варианта структуры. Если $m_i=4$ и более, то выбор следует проводить, исходя из следующих правил:

1. Присвоить каждому i -му элементу нижнего уровня вес важности ω_i одним из известных способов, где $\sum_{i=1}^n \omega_i$.

2. Выбираем структуру дихотомического дерева:

– если веса примерно одного порядка, тогда количество уровней минимально, то есть, свёртываем нижний уровень попарно;

- если веса разнесены равномерно, то количество уровней максимально, то есть, свёртываем все элементы последовательно снизу вверх;
- на низших уровнях иерархии целесообразно свёртывать менее важные критерии;
- если веса группируются в группы, то к группам применяем описанные выше правила.

Выбор структуры агрегирования является важным инструментом реализации определённой политики принятия решений при проведении оценки системы.

Для получения общей оценки системы при принятии решения используется процедура упрощённого метода анализа иерархий. Выбор данного метода для оценки на самом верхнем уровне иерархии обосновывается рядом факторов:

- обобщённая оценка включает в себя свёртку более десятка классов. Нетрудно видеть, что построение эквивалентного бинарного дерева для матричной свёртки повлечёт за собой построение десятка промежуточных матриц свёртки, большая часть которых будет лишена реального «физического» смысла, что приведёт к необоснованной погрешности оценки;
- оценка взаимовлияния классов друг на друга требует от экспертов чрезвычайно высокой квалификации, так как ошибки в оценках на этом уровне не могут быть компенсированы в процессе дальнейшей работы;
- привлечение экспертов высокого уровня для построения большого количества бинарных матриц свёртки не увеличит точность оценки по сравнению с простым ранжированием классов по их важности, что требуется для упрощённого метода анализа иерархий;
- использование известного метода анализа иерархий требует построения матрицы парных сравнений, что практически нереально для матриц размерностью больше семи (7×7), не говоря о матрицах (15×15).

Суть «упрощённого» МАИ [7] заключается в том, что для вычисления весов линейной аддитивной свёртки обобщённой оценки используем только первую строку элементов матрицы парных сравнений, что в десятки раз проще в нашем случае. Далее, компоненты вектора весов $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ вычисляются по формуле:

$$w_i = \frac{a_{1n}}{a_{1i}}, i=1, 2, \dots, n,$$

что существенно упрощает промежуточные расчёты и не вносит дополнительную погрешность. Упрощённый МАИ может использоваться на промежуточных уровнях и при формировании структуры дихотомического дерева критериев оценки при матричной свёртке.

Необходимым элементом экспертной поддержки прогноза развития чрезвычайных ситуаций, а также анализа мер по их предотвращению являются модели поддержки принятия решений при выборе наиболее эффективных альтернатив развития и методов их обеспечения ресурсами, моделей прогноза результатов тех или иных решений, с возможностью быстрой адаптации в условия изменяющихся целей, ресурсов и временных ограничений.

Для разработки моделей поддержки принятия решений предложено использовать подход, базирующийся на объединении современных моделей представления знаний о слабо структурируемой предметной области в виде нечёткой иерархии и моделей принятия решений, основанных на теории нечётких множеств, нечёткой логике и методах свёртки.

Литература

1. Воробьёв Ю.Л. Сервис безопасности – негосударственный сектор обеспечения безопасности // Проблемы анализа риска. 2008. Т. 5. № 1. С. 8–19.
2. Поддержка принятия решений в слабоструктурированных предметных областях: анализ ситуаций и оценка альтернатив / А.Н. Аверкин [и др.] // Изв. РАН: Теория и системы упр. 2006. № 3. С. 139–149.
3. Поярков Н.Г. Метод формализации данных и модели нечёткого кластерного анализа и рейтингового оценивания объектов с качественными характеристиками: дис. ... канд. техн. наук. М., 2007.

4. Полещук О.М. Методы формализации и обработки нечёткой экспертной информации: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2005.
5. Нечёткие модели и сети / А.С. Федулов [и др.]. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 284 с.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989.
7. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: Физматлит, 2002.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЕДИНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

К.В. Кораев;

В.А. Зокоев, кандидат юридических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Изложены основные положения Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Раскрываются основные цели, задачи и мероприятия, проводимые на различных уровнях реагирования, в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: опасность, государство, население, чрезвычайная ситуация, безопасность, регион, субъект

ORGANIZATION OF THE UNIFIED STATE SYSTEM OF PREVENTION AND ELIMINATION OF EMERGENCIES

K.V. Koraev; V.A. Zokoev.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article describes the main provisions of the unified state system of prevention and liquidation of emergency situations. The authors describe the main goals, objectives and activities undertaken at various levels of response in the framework of the unified state system of prevention and liquidation of emergency situations.

Keywords: danger, the state, the population, emergency situation, security, region, a constituent entity

Необходимость образования государственных систем защиты населения и территорий как в России, так и за рубежом была в своё время обусловлена ростом военных угроз, созданием и развитием средств поражения.

Основные направления современной государственной политики Российской Федерации в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций (ЧС) формируются и реализуются с учётом геополитических, стратегических, социально-экономических и иных факторов, которые за последние годы претерпели значительные изменения.

Качественное изменение опасностей, возникающих в случае даже ограниченного применения оружия массового поражения, нарастание угрозы терроризма, техногенные аварии и катастрофы, усиление тяжести последствий стихийных бедствий, проблемы экологии, угрозы эпидемий – всё это потребовало пересмотра основных направлений, содержания, организации и порядка подготовки и реализации мероприятий в области гражданской обороны, предупреждения и ликвидации ЧС.