

# ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦЕНТРА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Швец О.Я., к.т.н.

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д.  
Серикбаева,  
Республика Казахстан

В условиях нестабильности возрастает опасность возникновения различных чрезвычайных ситуаций как техногенного, так и природного характера, что предъявляет новые требования к информационной поддержке устойчивого функционирования региона.

Для решения системных проблем в сфере предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций Правительством Республики Казахстан в 2012 году была утверждена «Программа развития государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», которая на сегодняшний день успешно реализуется в масштабе страны. С учетом меняющихся обстоятельств Правительством страны одобрена «Концепция предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и совершенствования государственной системы управления в этой области».

В рамках реализации программы развития государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций создан центр экологического мониторинга для предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЦЭМЧС) в г. Усть-Каменогорске. ЦЭМЧС является сложной системой с иерархической структурой. Каждый из элементов структурной модели является подсистемой и может быть декомпозирован. Количественные и качественные значения переменных, обеспечивающих обратную связь между объектом управления и субъектом управления, напрямую связаны с индикаторами программы создания центра, на которых определяется функция ее результативности и эффективности реализации. Целью администрирования программы развития и функционирования ЦЭМЧС является минимизация функции близости действительных и желаемых значений индикаторов изменения функций плановой реализации программы и фактической реализации.

Схема реализации компонента, представляющего собой подсистему управления, потребовала разработки оригинальной информационной технологии как системы научных и инженерных знаний, а также методов и моделей, обеспечивающих создание, сбор, передачу, хранение и обработку данных в процессе экологического мониторинга (1, 2).

Структурная модель функционирования ЦЭМЧС может быть представлена в виде иерархического дерева. Дуги дерева связывают вершины по логической схеме: основная цель – задачи, решение которых приводит к достижению цели – подзадачи, обеспечивающие выполнение задач – мероприятия, связанные с

решением подзадач – проекты – объекты, на которых выполняются работы в рамках проектов. Проекты и выполняемые работы находятся на самом нижнем уровне иерархии и доступны для оценки их состояния извне, но чем выше уровень иерархии по дереву, тем более скрытым и нечетким становится состояние реализации, степень завершенности и результативности программы. Была разработана модель описания вершины дерева и метод оценки ее состояния (экологического состояния города) для предотвращения чрезвычайных ситуаций в целом на конкретный момент времени (3).

Правила из базы знаний, на основании которых построено дерево поиска решений, можно извлечь на естественном языке. В случае сложности формализации знаний дерева решений позволяют создавать нечеткие классификационные модели.

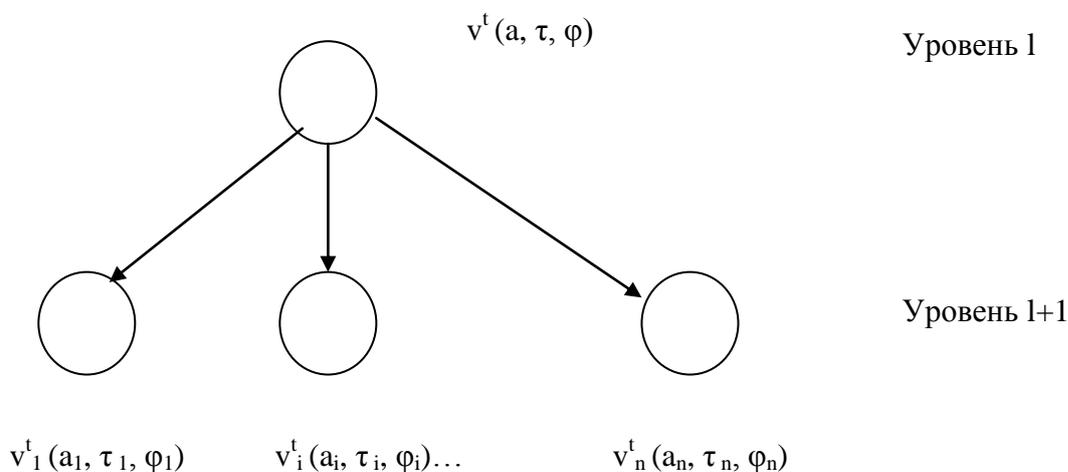


Рисунок 1 – Описание вершины  $v^t$  дерева в момент времени  $t$

Пусть  $t \geq 0$  некоторый момент функционирования процессов в вершинах дерева, каждая вершина дерева  $v$  с потомками одного уровня характеризуется своим состоянием, которое задается набором переменных  $v^t(a, \tau, \phi)$ , где  $a$  – объем выполненных работ или показатель степени завершенности мероприятия;  $\tau$  – время, оставшееся до завершения процесса в вершине;  $\phi$  – степень достижения цели.

Показатель степени завершенности  $m$ -ой вершины текущего  $l$ -ого уровня  $a_m^l$  вычисляется как сумма показателей элементов предыдущего уровня

$$a_m^l = \sum_{i \in \bar{A}_m^l} k_i^{(l+1)} a_i^{(l+1)}, \text{ причем } \sum_{i \in \bar{A}_m^l} k_i^{(l+1)} = 1.$$

Во всех вершинах дерева протекают некоторые физические процессы (проектирование, наладка очистных устройств, ремонт оборудования и т.д.) оценка завершения которых является основной целью мониторинга состояния объектов ЦЭМЧС. Каждая вершина дерева с потомками одного уровня характеризуется своим состоянием, которое задается набором переменных: показателем степени завершенности мероприятия; временем, оставшимся до завершения процесса в вершине; степенью достижения цели.

Для оценки состояния вершины вводится лингвистическая переменная «Оценка экологического состояния», связанная с выпуклым нормальным нечетким множеством и заданная терм-множеством {«в норме по основным показателям», «в основном в норме», «нормальное граничное», «почти критическое», «ЧС»} с функцией принадлежности  $\mu(x) = 1/(1+(x-A)^2)$ .

Степень достижения цели в корневой вершине дерева функционирования ЦЭМЧС определяется на основании значений данного показателя у дочерних вершин и рассчитывается в соответствии с принципом обобщения Заде как результат последовательного умножения нечетких чисел.

Пусть  $(\tau^{(i)}, a^{(i)})$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  - состояние вершины, аналогичной  $v$  в  $i$ -ом ранее завершеном объекте, данные мониторинга которого выступают объектом обучения. Оценка времени завершения процесса  $\tau$  в вершине  $v$  определяется как наибольшее из времен завершения процессов  $(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$  в вершинах, предшествующих  $v$ , и времени  $\tilde{\tau}$ , прогнозируемого для некоторого объекта  $n+1$  по состоянию  $m$  объектов обучения:

$$\tau = \max(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n, \tilde{\tau})$$

Обозначим  $Var^*$  - вектор искусственно введенных переменных, а  $p_k$  - объемы работ для вершин-потомков.

Оценка  $\tau$  может быть вычислена как некоторое приближение функции

$$\tilde{\tau} = F_{a_1, a_2, \dots, a_n}(Var^*), \text{ которая при условии } a = \frac{\sum_{k=1}^n a_k p_k}{\sum_{k=1}^n p_k} \text{ обеспечивает}$$

$$\inf_{x \in x_1, \dots, x_{n+1}} \sum_{i=1}^m F_{a_1, a_2, \dots, a_n}(x - \tau^{(i)})^2.$$

В конечном виде задача оценки времени завершения процесса в вершине дерева функционирования ЦЭМЧС сводится к решению задачи квадратичного программирования с  $n$  переменными и  $m$  нетривиальными ограничениями (4, 5). Для ее решения при ограничениях

$$\sum_{k=1}^n \bar{a}_k^{(i)} x_k \geq \max \tau_k^{(i)}, \quad x_k \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

используются стандартные методы квадратичного программирования:

$$\min_{x \in x_1, \dots, x_{n+1}} \left( \sum_{i=1}^m \left( \sum_{k=1}^n \bar{a}_k^{(i)} (x - \tau^{(i)})^2 \right) \right), \quad \bar{a}_k^{(i)} = a_k^{(i)} - 1$$

Для оценки состояния ЦЭМЧС и степени достижения цели использована нечеткая продукционная модель с набором правил, для формирования которых используются

1) входные переменные:

- время оставшееся до завершения процесса, с терм-множеством {опережение, по плану, отставание};

- этап выполнения процесса с терм-множеством {начало, выполнение, конец};

- объем работ {полностью, более половины, менее половины, не выполнен};

2) выходные переменные:

- состояние выполнения – лингвистическая переменная с терм-множеством {выполнено, в завершающей стадии, удовлетворительное, проблемное, критическое};

- степень достижения цели – лингвистическая переменная с терм-множеством {достигнута, высокая, средняя, низкая, не достигнута}.

Зададим нечеткие множества по условиям, указанным выше, с помощью пакета Mathematica.

```
In[39]:= SetOptions@FuzzySet, UniversalSpace → 80, 20, 1<D;
```

```
In[40]:= FS1 = FuzzyTrapezoid@1, 8, 12, 17D;
```

```
In[41]:= FS2 = FuzzyBell@5, 3, 2D;
```

```
In[42]:= rel1 = SetsToRelation
```

```
Out[46]= {90.00159744, 0.00210406, 0.00282801, 0.00389105, 0.00550197,  
0.00803492, 0.0121951, 0.0193919, 0.032635, 0.0588235, 0.114731,  
1/7, 1/5, 0.240356, 2/7, 2/5, 3/7, 0.5, 4/7, 3/5, 5/7, 4/5, 0.835052, 6/7, 0.987805, 1.}
```

На представленном ниже рисунке 2 даны графики функций принадлежности для множеств, связанных с лингвистической переменной "объем работ".

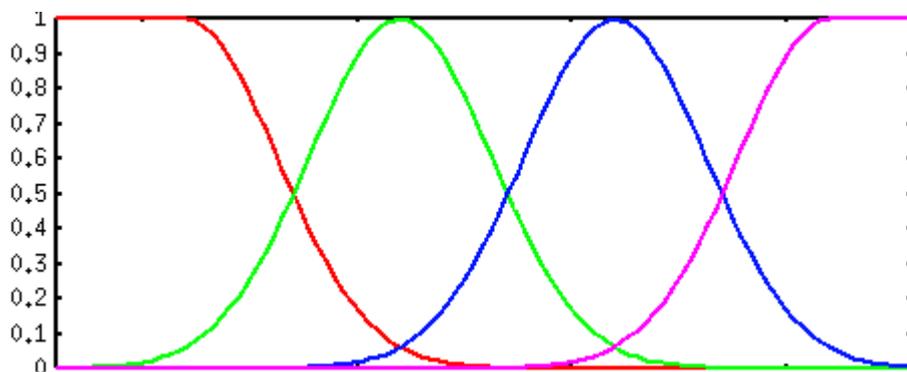


Рисунок 2 – Графики функций принадлежности

Рассмотрим построение центров четырех нечетких множеств. Функция кластеризации позволяет указать степень принадлежности каждого из значений на входе модели к определенному кластеру.

```
Out[69]= {{{8.80257, 8.45625, 7.72496}, {8.60842, 1.70315, 1.34927},  
{1.91922, 1.9161, 2.53901}, 84.36615, 4.70241, 4.31657}},  
{{0.00790454, 0.00245483, 0.00787974, 0.0200401, 0.00638034, 0.0193489,  
0.0138087, 0.675572, 0.965732, 0.957304, 0.936261, 0.924364, 0.9852,  
0.0225436, 0.00637423, 0.010978}, 80.0162631, 0.00670802, 0.0208705,  
0.057455, 0.0079704, 0.0244519, 0.0179912, 0.0636494, 0.00973579,
```

0.0105433, 0.0178313, 0.0239293, 0.00414031, 0.90297, 0.961731, 0.935038},  
{0.927363, 0.974613, 0.924737, 0.732182, 0.0195252, 0.0661418, 0.0263162,  
0.0556566, 0.00691018, 0.00855686, 0.0136039, 0.0153974, 0.00310599,  
0.033649, 0.0141819, 0.0221196}, {0.0484691, 0.0162238, 0.0465132,  
0.190323, 0.966124, 0.890057, 0.941884, 0.205122, 0.0176218, 0.0235959,  
0.0323038, 0.036309, 0.00755412, 0.0408375, 0.0177126, 0.0318645}},  
{{{7.15306, 6.30536, 5.84949}, {7.93877, 4.64636, 4.82262},  
{5.69922, 4.36545, 3.86212}, {5.30485, 4.48257, 4.57858}},  
{{8.0429, 7.54342, 7.07821}, {7.76901, 4.66307, 4.28611}, {4.77792, 3.29263,  
3.13574}, {4.39454, 3.83761, 3.77279}},  
{{8.5597, 8.22325, 7.613}, {7.92331, 2.62504, 2.34509}, {4.02478, 2.42384,  
2.4866}, {3.92328, 3.5844, 3.54958}}, {{8.73341, 8.3974, 7.70331}, {8.32764,  
1.83272, 1.51549}, {2.50898, 2.29497, 2.5358}, {3.76241, 3.9794, 3.92443}},  
{{8.77124, 8.42984, 7.71421}, {8.53991, 1.73997, 1.38123}, {2.05767, 2.03581,  
2.48377}, {4.23674, 4.57599, 4.31832}}, {{8.79512, 8.45028, 7.72315}, {8.59628,  
1.70953, 1.35416}, {1.94406, 1.93933, 2.5207}, {4.34704, 4.68528, 4.32733}},  
{{8.80257, 8.45625, 7.72496}, {8.60842, 1.70315, 1.34927}, {1.91922, 1.9161,  
2.53901}, 84.36615, 4.70241, 4.31657}}}

Функции принадлежности для входных и выходных переменных представлены нечеткими числами L-R-типа. Нечеткая база знаний представлена совокупностью из 47 нечетких продукционных правил, которые были сформированы последовательным перебором всех допустимых условий и следствий в виде <ЕСЛИ (условие) ТО (действие)>. В результате исследования разработан программно-информационный комплекс, реализующий решение поставленных задач.

1. Балова Т.Г., Уркумбаева А.М. Математическая и информационная поддержка мониторинга реализации государственных программ // Вестник СГУ им. Шакарима, №4 – Семипалатинск, 2009. – С. 155-159.

2. Швец О.Я. Разработка информационной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций в условиях стационарной работы предприятий. – совместный выпуск Вычислительные технологии, Вестник КазНУ им. аль-Фараби №13, часть 3. – Алматы – Новосибирск, 2008. – С. 308-312.

3. Швец О.Я. Классификация чрезвычайных ситуаций с помощью построения дерева поиска решения. – Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева №3(3). – Усть-Каменогорск, 2008. - – С.97-104.

4. Швец О.Я. Использование нейросетевых технологий для классификации ЧС. Журнал «Поиск» №3 – Алматы, 2008. – С. 153 – 155.

5. Швец О.Я., Мутанов Г.М. Математическое обеспечение трансферта информационных технологий для решения задач экологического мониторинга. Материалы II Международной научно-практической конференции: «Роль вузов в формировании инновационной экономики». – Усть-Каменогорск, 2009. – С. 143-148.