

## **НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНДЕКСА УСТОЙЧИВОСТИ СОЦИАЛЬНОЙ СРЕДЫ**

**Н.А. АБДУЛЛАЕВА**

Предложен нечеткий подход к оцениванию индекса устойчивости социальной среды и прогнозирование состояния индекса в следующем году посредством нечеткой Марковской модели. Нечеткие методы применены на основе новой базы показателей, позволяющих отражать не только статику, но и динамику развития социальной среды.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение социальной среды в рамках анализа устойчивого развития стран весьма актуально в настоящее время. В различных исследованиях приводятся базы данных (БД) по показателям, отражающим оценку того или иного аспекта развития социальной среды.

Так, учеными Фонда Устойчивого Общества разработан индекс устойчивого общества (SSI–2008), рассчитываемый из 22 индикаторов, объединенных в 5 групп: индивидуальное развитие, здоровая окружающая среда, сбалансированное общество, устойчивое использование ресурсов, устойчивый мир [1].

В исследовании, проведенном Институтом прикладного системного анализа Национальной академии наук Украины и МОН Украины [2], предложена система показателей, в которой уровень устойчивого развития оценивается как сумма индексов для 3-х измерений — экономического, социального и экологического. В свою очередь, индекс социального измерения рассчитывается как усредненная сумма 3-х индексов — качества и безопасности жизни, разработанного международной организацией Economist Intelligence Unit; человеческого развития, который используется программой ООН UNDP; общества, основанного на знаниях (или К-общества), разработанного департаментом ООН по экономическому и социальному развитию — UNDESA.

Так как методы математической статистики, применяющиеся для расчета перечисленных выше индексов, не учитывают факторы неопределенности (отсутствие или недостаточность достоверной информации, наличие качественных характеристик в виде экспертных оценок, случайность рассматриваемых процессов). В данной работе для оценки и прогнозирования индекса устойчивости социальной среды предлагаются нечеткие модели. Также разработана новая БД, которая включает показатели, позволяющие отражать не только статику, но и динамику развития социальной среды.

Для того, чтобы конкретизировать предмет, характеризуемый БД, и определить основную цель научных изысканий, приведем определение социальной среды, которого будем придерживаться в данной работе.

Социальная среда представляет собой совокупность экономических, социетальных, политических, духовных и экологических условий существования, формирования и деятельности индивидов и общества.

В соответствии с основными аспектами социальной среды проводится отбор 30 показателей, которые, в свою очередь, компонуются в 5 блоков. В качестве статистической информации в таблицах применяются данные Всемирного Банка (ВБ), Организации Объединенных Наций (ООН), Международного Валютного Фонда (МВФ), Службы оценки политических рисков (PRS) и Политического атласа современности.

Процесс моделирования состоит из двух этапов:

- оценивание текущего состояния индекса устойчивости социальной среды;
- прогнозирование на один временной шаг вперед состояния индекса устойчивости социальной среды.

## **НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ИНДЕКСА УСТОЙЧИВОСТИ СОЦИАЛЬНОЙ СРЕДЫ**

В процессе нечеткого моделирования используются показатели и интервальные значения термов множеств лингвистических переменных, приведенные в табл. 1.

Показатели, приведенные в табл. 1 — нечисловые величины, не имеющие определенного численного значения. Другими словами, они размыты. На основании международных данных определены пороги (пределы) по каждому показателю в виде интервалов разброса значений [3], [4]. Так, падение уровня ВВП по отношению к базовому уровню до 30–40 % может привести к потере экономической безопасности и устойчивости развития. При годовом уровне инфляции в 40 % экономический рост прекращается, при инфляции свыше 100 % начинается спад промышленного производства и снижение стоимости ВВП. Нельзя допускать завоза более 30 % продуктов питания, в то время как доля высокотехнологичной продукции в экспорте должна составлять не менее 10–15 %. Уровень безработицы не должен превышать 15–20 % от общего числа трудоспособного населения. Допустимым соотношением доходов 10 % самых богатых и 10 % самых бедных групп населения считается 10:1. Превышение ущерба экологии 5 % приведет к возникновению жизнеопасной окружающей среды. В случае, если инвестиции на защиту окружающей среды составляют меньше 5 % ВВП, происходит деградация экологии и т.д.

Оценивание индекса устойчивости социальной среды осуществляется методом нечеткого логического вывода. В качестве исходной информации берутся статистические данные по Азербайджану (табл. 2).

Таблица 1. Показатели устойчивости социальной среды

Показатели	Термы множеств состояния устойчивости			
	T1 «Устойчивый»	T2 «Средне-устойчивый»	T3 «Слабо-устойчивый»	T4 «Неустойчивый»
<b>Индекс экономического развития</b>	(100, 75)	(75, 50)	(50, 25)	(25, 0)
Темпы роста ВВП, %	> 10	(10, 0)	(0, -30)	< -30
Уровень инфляции, %	(0, 5)	(5, 40)	(40, 100)	> 100
Доля импортных продуктов питания в потреблении, %	(0, 5)	(5, 10)	(10, 20)	(20, 100)
Доля высокотехнологичной продукции в экспорте, %	(15, 10)	(10, 5)	(5, 1)	(1, 0)
Национальный долг в ВВП, %	< 10	(10, 30)	(20, 60)	> 60
Доля государственных расходов в ВВП, %	> 50	(50, 25)	(30, 10)	< 15
Кредитный рейтинг страны	(100, 75)	(75, 50)	(50, 25)	(25, 0)
<b>Индекс социетального развития</b>	(100, 75)	(75, 50)	(50, 25)	(25, 0)
Средняя продолжительность жизни населения страны, лет	> 68	(68, 55)	(57, 43)	< 44
Дециль	< 5	(5, 8)	(7, 10)	> 10
Уровень безработицы, %	(0, 17)	(17, 40)	(34, 60)	> 50
Отношение числа умерших к числу родившихся	< 0,35	(0,30, 0,68)	(0,60, 1)	> 1
Уровень образованности, %	> 98	(99, 72)	(74, 47)	< 48
<b>Индекс политического развития</b>	(100, 75)	(75, 50)	(50, 25)	(25, 0)
Закон и правопорядок	> 4,3	(4,5, 2,8)	(3, 1,4)	< 1,5
Социально-экономическая политика	> 8	(8,2, 5,5)	(6, 2,75)	< 3
Этнические конфликты	> 4,3	(4,5, 2,8)	(3, 1,4)	< 1,5
Внутренние конфликты	> 8	(8,2, 5,5)	(6, 2,75)	< 3
Коррупция	> 4,3	(4,5, 2,8)	(3, 1,4)	< 1,5
Потенциал международного влияния	> 7	(7,3, 4,8)	(5, 2,4)	< 2,5
Внешние конфликты	> 8	(8,2, 5,5)	(6, 2,75)	< 3
<b>Индекс духовного развития</b>	(100, 75)	(75, 50)	(50, 25)	(25, 0)
Уровень религиозности общества	высокий	средний	ниже среднего	низкий
Уровень толерантности в обществе	высокий	средний	ниже среднего	низкий
Уровень влияния религиозных организаций на развитие общества	высокий	средний	ниже среднего	низкий
Уровень культуры граждан	высокий	средний	ниже среднего	низкий
Уровень влияния информации на развитие общества	высокий	средний	ниже среднего	низкий
<b>Индекс экологического развития</b>	(100, 75)	(75, 50)	(50, 25)	(25, 0)
Качество воздуха	> 75	(75, 50)	(50, 25)	< 25
Качество воды	> 75	(75, 50)	(50, 25)	< 25
Качество земли	> 75	(75, 50)	(50, 25)	< 25
Биоразнообразие	> 75	(75, 50)	(50, 25)	< 25
Инвестиции на защиту окружающей среды от ВВП, %	> 5	(5, 3,3)	(3,3, 1,65)	(1,65, 0)
Ущерб экологии	(0, 1,65)	(1,65, 3,3)	(3,3, 5)	> 5
<b>Индекс устойчивости социальной среды</b>	(100, 75)	(75, 50)	(50, 25)	(25, 0)

**Таблица 2.** Параметры устойчивости социальной среды в Азербайджане

Показатели	Статистическое значение	Лингвистическая переменная
Темпы роста ВВП, %	25	T 1
Уровень инфляции, %	16,7	T 2
Доля импортных продуктов питания в потреблении, %	15,9	T 3
Доля высокотехнологичной продукции в экспорте, %	7	T 2
Национальный долг в ВВП, %	8,3	T 1
Доля государственных расходов в ВВП, %	24	T 3
Кредитный рейтинг страны	41	T 3
Средняя продолжительность жизни населения страны, лет	72,4	T 1
Дециль	3	T 1
Уровень безработицы, %	6,5	T 1
Отношение числа умерших к числу родившихся	0,35	T 2
Уровень образованности, %	99,5	T 1
Закон и правопорядок	3,5	T 2
Социально-экономическая политика	8	T 1
Этнические конфликты	4,5	T 1
Внутренние конфликты	9	T 1
Коррупция	1,5	T 4
Потенциал международного влияния	0,11	T 4
Внешние конфликты	7	T 2
Уровень религиозности общества *	низкий	T 4
Уровень толерантности в обществе *	высокий	T 1
Уровень влияния религиозных организаций на развитие общества *	низкий	T 4
Уровень культуры граждан *	средний	T 2
Уровень влияния информации на развитие общества *	высокий	T 1
Качество воздуха	37,5	T 3
Качество воды	62,5	T 2
Качество земли	53,65	T 2
Биоразнообразие	62,5	T 2
Инвестиции на защиту окружающей среды от ВВП, %	3,5	T 2
Ущерб экологии	0,05	T 1

В виду отсутствия статистических данных по показателям, характеризующим духовное развитие страны, проведена экспертная оценка, и информация представлена в виде лингвистических значений, что обозначено в табл. 2 звездочкой (\*).

В отдельности по каждому из индексов экономического развития, социального развития, духовного развития, политического развития и экологического развития, данные фазифицируются и строятся Гауссовские функции принадлежности. Для этого определены 4 термина лингвистических переменных (T1 — устойчивый, T2 — среднеустойчивый, T3 — слабоустойчивый, T4 — неустойчивый). Затем экспертным путем создаются правила. Методом композиции выявляются агрегированные нечеткие множества. В процессе дефазификации выводятся значения индексов, указанные в табл. 3.

**Таблица 3.** Результаты дефаззификации

Показатель	Числовое значение	Лингвистическое значение
Индекс экономического развития	63,9	Среднеустойчивый
Индекс социетального развития	69,7	Среднеустойчивый
Индекс политического развития	34,2	Слабоустойчивый
Индекс духовного развития	33,9	Слабоустойчивый
Индекс экологического развития	64,5	Среднеустойчивый

Те же этапы проводятся для итогового индекса (построение Гауссовских функций принадлежности (рис. 1), композиция правил (рис. 2)).

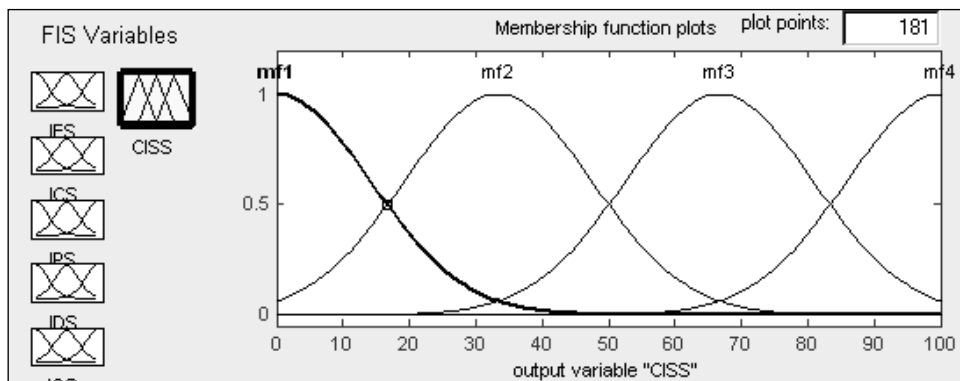


Рис. 1. Построение функций принадлежности

С помощью пакета математических программ MATLAB7.0/Fuzzy Toolbox/Fuzzy Inference System, применяя центроидный метод дефаззификации (рис. 2, 3), рассчитано значение 42,5, которое означает, что состояние индекса устойчивости социальной среды оценивается как слабоустойчивое.

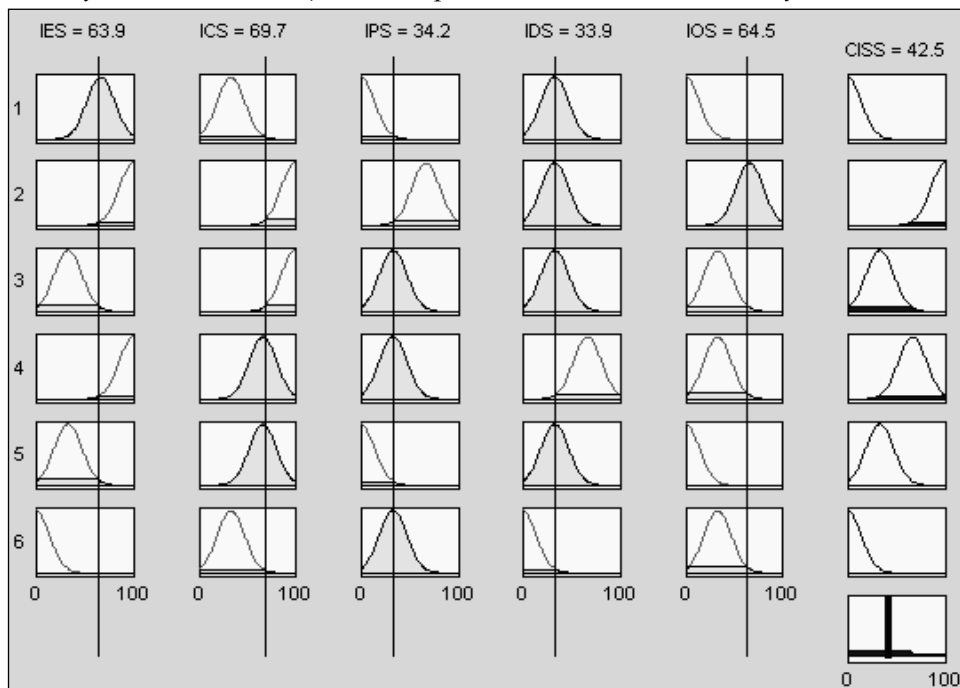


Рис. 2. Композиция правил и процедура дефаззификации

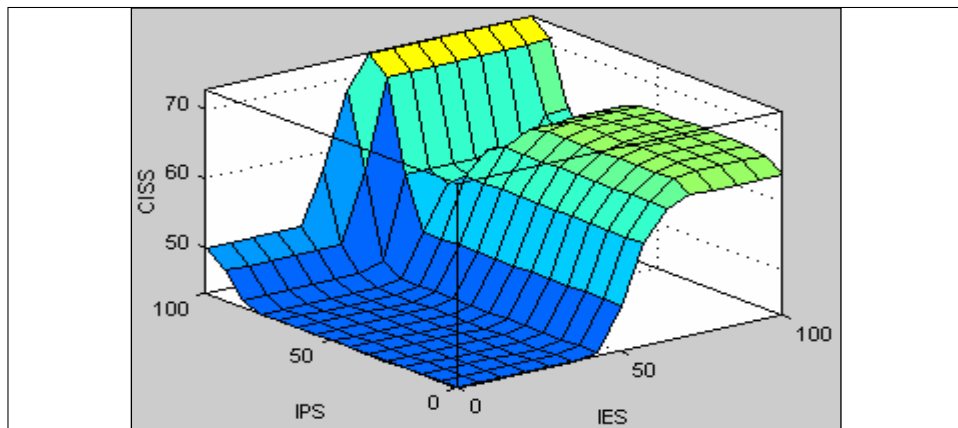


Рис. 3. Графическое представление полученных значений

### НЕЧЕТКАЯ МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНДЕКСА УСТОЙЧИВОСТИ СОЦИАЛЬНОЙ СРЕДЫ

Нечеткая Марковская модель используется для прогнозирования возможного значения индекса в следующем году. Степень значимости каждого из входных показателей для итогового индекса принимается эквивалентной друг другу.

Нечеткая Марковская модель выражается следующей формулой:

$$P_x^n = P_x^0 \circ M^n, \tag{1}$$

где  $M^n$  — нечеткая переходная матрица состояний,  $P_x^0$  — вектор вероятностей нечетких начальных состояний индекса,  $P_x^n$  — вектор вероятностей состояний индекса в следующем периоде.

Для решения задачи используются идеи, описанные в [3] и [4].

Как видно из табл. 2, четыре из тридцати показателей находятся в неустойчивом состоянии. Если вероятность пребывания каждого из четырех показателей в неустойчивом состоянии одинакова, то вероятность нахождения индекса устойчивости социальной среды в неустойчивом состоянии равна 0,13 (4/30). Тогда вероятность нахождения индекса в слабоустойчивом состоянии равна 0,87.

Вероятности неустойчивого состояния по показателям распределяются следующим образом.

Таблица 4. Распределения вероятности

Количество показателей	Вероятность нахождения показателя в неустойчивом состоянии
1–4	0–0,13
5–9	0,17–0,30
10–14	0,33–0,47
15–30	0,50–1

Табл. 4 дает возможность определить распределения вероятности по каждому из 4 состояний индекса: очень высокая устойчивость (VH) — 1–

0,87; высокая устойчивость ( $H$ ) — 0,87–0,70; низкая устойчивость ( $L$ ) — 0,70–0,53; очень низкая устойчивость ( $VL$ ) — 0,53–0.

Функции принадлежности для соответствующих состояний индекса  $VH, H, L, VL$  следующие:

$$\mu_{VH} = \frac{0}{0,87} + \frac{0,154}{0,88} + \frac{0,308}{0,89} + \frac{0,462}{0,90} + \frac{0,616}{0,91} + \frac{0,770}{0,92} + \frac{0,924}{0,93} + \frac{1}{0,935} + \frac{0,924}{0,94} + \frac{0,770}{0,95} + \frac{0,616}{0,96} + \frac{0,462}{0,97} + \frac{0,308}{0,98} + \frac{0,154}{0,99} + \frac{0}{1},$$

$$\mu_H = \frac{0}{0,70} + \frac{0,188}{0,71} + \frac{0,236}{0,72} + \frac{0,354}{0,73} + \frac{0,472}{0,74} + \frac{0,590}{0,75} + \frac{0,708}{0,76} + \frac{0,826}{0,77} + \frac{0,944}{0,78} + \frac{1}{0,785} + \frac{0,944}{0,79} + \frac{0,826}{0,80} + \frac{0,708}{0,81} + \frac{0,590}{0,82} + \frac{0,472}{0,83} + \frac{0,354}{0,84} + \frac{0,236}{0,85} + \frac{0,188}{0,86} + \frac{0}{0,87},$$

$$\mu_L = \frac{0}{0,53} + \frac{0,188}{0,54} + \frac{0,236}{0,55} + \frac{0,354}{0,56} + \frac{0,472}{0,57} + \frac{0,590}{0,58} + \frac{0,708}{0,59} + \frac{0,824}{0,60} + \frac{0,944}{0,61} + \frac{1}{0,615} + \frac{0,944}{0,62} + \frac{0,824}{0,63} + \frac{0,708}{0,64} + \frac{0,590}{0,65} + \frac{0,472}{0,66} + \frac{0,354}{0,67} + \frac{0,236}{0,68} + \frac{0,188}{0,69} + \frac{0}{0,70},$$

$$\mu_{VL} = \frac{0}{0,0} + \frac{0,038}{0,01} + \frac{0,076}{0,02} + \frac{0,114}{0,03} + \frac{0,152}{0,04} + \frac{0,190}{0,05} + \frac{0,228}{0,06} + \frac{0,266}{0,07} + \frac{0,304}{0,08} + \frac{0,342}{0,09} + \frac{0,380}{0,10} + \frac{0,418}{0,11} + \frac{0,456}{0,12} + \frac{0,494}{0,13} + \frac{0,532}{0,14} + \frac{0,570}{0,15} + \frac{0,608}{0,16} + \frac{0,646}{0,17} + \frac{0,684}{0,18} + \frac{0,722}{0,19} + \frac{0,760}{0,20} + \frac{0,798}{0,21} + \frac{0,836}{0,22} + \frac{0,874}{0,23} + \frac{0,912}{0,24} + \frac{0,950}{0,25} + \frac{0,988}{0,26} + \frac{1}{0,265} + \frac{0,988}{0,27} + \frac{0,950}{0,28} + \frac{0,912}{0,29} + \frac{0,874}{0,30} + \frac{0,836}{0,31} + \frac{0,798}{0,32} + \frac{0,760}{0,33} + \frac{0,722}{0,34} + \frac{0,684}{0,35} + \frac{0,646}{0,36} + \frac{0,608}{0,37} + \frac{0,570}{0,38} + \frac{0,532}{0,39} + \frac{0,494}{0,40} + \frac{0,456}{0,41} + \frac{0,418}{0,42} + \frac{0,380}{0,43} + \frac{0,342}{0,44} + \frac{0,304}{0,45} + \frac{0,266}{0,46} + \frac{0,228}{0,47} + \frac{0,190}{0,48} + \frac{0,152}{0,49} + \frac{0,114}{0,50} + \frac{0,076}{0,51} + \frac{0,038}{0,52} + \frac{0}{0,53}.$$

На основании указанного выше распределения вероятностей строится следующая нечеткая переходная матрица состояний:

$$M^1 = \begin{pmatrix} VL & H & M & L \\ M & VL & H & M \\ H & VH & L & VL \\ L & M & H & VL \end{pmatrix}.$$

Как правило, данная матрица строится экспертами в зависимости от устойчивости социальной среды государства.

Вектор вероятностей нечетких начальных состояний  $P_x^0$  определяется на основании значения индекса устойчивости социальной среды, рассчитанного методом нечеткого логического вывода. Так как в нашем случае

в неустойчивом состоянии находятся четыре показателя из тридцати, то вероятность индекса устойчивости социальной среды остаться в слабоустойчивом состоянии равна 0,87, перейти в состояние неустойчивости — 0,02; в состояние средней устойчивости — 0,08, в состояние устойчивости — 0,03:

$$P_x^0 = (VL, VL, VH, VL) = (0,03; 0,08; 0,87; 0,02).$$

Подставив значения  $M^1$  и  $P_x^0$  в формулу (1) можно рассчитать значение вектора вероятностей состояний индекса в следующем периоде  $P_x^1$ :

$$P_x^1 = (VL, VL, VH, VL) \circ \begin{pmatrix} VL & H & M & L \\ M & VL & H & M \\ H & VH & L & VL \\ L & M & H & VL \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Согласно логическим вычислениям имеем:

$$(VL \wedge H) \vee (VL \wedge M) \vee (VH \wedge H) \vee (VL \wedge L) = VL \vee VL \vee H \vee L = H,$$

$$(VL \wedge H) \vee (VL \wedge VL) \vee (VH \wedge VH) \vee (VL \wedge M) = VL \vee VL \vee VH \vee VL = VH,$$

$$(VL \wedge M) \vee (VL \wedge H) \vee (VH \wedge L) \vee (VL \wedge H) = VL \vee VL \vee L \vee VL = L,$$

$$(VL \wedge L) \vee (VL \wedge M) \vee (VH \wedge VL) \vee (VL \wedge VL) = VL \vee VL \vee VL \vee VL = VL.$$

Соответственно по формуле (2) получен вектор вероятностей состояний индекса в следующем году:

$$P_x^1 = (H, VH, L, VL) = (0,78; 0,93; 0,61; 0,26).$$

## ВЫВОДЫ

В отличие от традиционных методов, нечеткие модели позволяют решать задачи в условиях неопределенности. В тоже время применение нечеткой Марковской модели более целесообразно в долгосрочных прогнозах. Учитывая, что результаты прогнозирования во многом зависят от переходной матрицы, в обоих случаях она должна строиться с участием высококвалифицированных экспертов. В дальнейших исследованиях необходимо также определять степень значимости значения каждого показателя для оценки выходного параметра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Geurt van de Kerk, Arthur Manuel*. Sustainable Society Index // Sustainable Society Foundation, December. — 2008. — [http://www.eoearth.org/article/Sustainable\\_Society\\_Index](http://www.eoearth.org/article/Sustainable_Society_Index).
2. *Zgurovsky M.Z.* Sustainable development global simulation: Opportunities and treats to the planet // Russian Journal of Earth Sciences, ES-2003. — 2007. — **9**. — P. 1–16.
3. *Zadeh L.A.* Linguistic Approach and its Application in Decision Analysis, Directions in Large-Scale Systems – Book, Plenum Press. — 1975. — 357–359 p.
4. *Chin Wen Cheong, Amy Lim Hui Lan & Ramachandran V.* Web Server Workload Forecasting — Fuzzy Linguistic Approach // International journal of the Computer, the Internet and Managment, September–December. — 2001. — **9**. — № 3. — P. 36–44.

Поступила 07.06.2010