

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/99TVN215.pdf>

DOI: 10.15862/99TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/99TVN215>)

Биккузина Алия Ильдаровна

ОАО «ОКБ МЭИ»
Россия, Москва
Научный сотрудник
E-mail: aluwa@bk.ru

Жуков Александр Олегович

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Россия, Москва
Старший научный сотрудник
Доктор технических наук, доцент
E-mail: aozhukov@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=667117

Желнов Илья Игоревич

ОАО «ОКБ МЭИ»
Россия, Москва
Начальник сектора
Кандидат военных наук
E-mail: jelnov-i@yandex.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=677624

**Система поддержки принятия решений при
информационно-аналитическом обеспечении оценки
и прогноза экологического состояния территорий
эксплуатации ракетно-космической техники**

Аннотация. В статье рассматривается множество альтернатив, оцениваемых экспертами по многим критериям, где каждая альтернатива характеризуется, в общем случае, своим набором специфических свойств, отличающимся друг от друга. Такое обстоятельство обуславливает использование многокритериальной оценки альтернатив. Для представления исходной информации – знаний специалистов в различных предметных областях на ранней стадии анализа альтернатив используется аппарат теории нечетких множеств. Предложенный подход к решению задачи упорядочения альтернатив использован в диалоговой системе моделирования принятия решений. Анализ и оценка рассматриваемых альтернатив осуществляется, обычно, силами экспертов на основе критериев, носящих часто качественный характер. Получаемая при этом от экспертов информация является неформальной. В этих условиях одним из приемлемых методов является аппарат теории нечетких множеств. Этот аппарат обеспечивает возможность рассмотрения субъективных оценок альтернатив, осуществляемых специалистами в определенной предметной области.

Ключевые слова: веса критериев; нечеткие множества; принятие решений; территории эксплуатации ракетно-космической техники; эксперт.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Биккузина А.И., Жуков А.О., Желнов И.И. Система поддержки принятия решений при информационно-аналитическом обеспечении оценки и прогноза экологического состояния территорий эксплуатации ракетно-космической техники // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015)
<http://naukovedenie.ru/PDF/99TVN215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/99TVN215

Для представления исходной информации – знаний специалистов в различных предметных областях на ранней стадии анализа альтернатив целесообразно использовать нечеткие множества. Обычно считается, что используемые критерии, в общем случае неэквивалентны. Поэтому на множестве критериев устанавливается строгий линейный порядок. Если встречаются эквивалентные критерии, то они заменяются обобщенным критерием, оценки по которому представляют собой усредненные значения оценок по всем эквивалентным критериям

$$K_1 \succ K_2 \succ \dots \succ K_m, \quad (1)$$

\succ – отношение строгого линейного порядка.

Ранжируемые альтернативы образуют множество $X = \{1, 2, \dots, n\}$. Экспертные оценки задаются в виде парных оценок. Для формализации такой информации используется обратимое нечеткой отношение (ОНО), определенное на множестве альтернатив X для каждого критерия

$$A_\xi = \{\mu_{ab}^\xi\}, \xi = \overline{1, m}; a, b \in X,$$

удовлетворяющее условиям

$$\mu_{aa}^\xi = 1, \mu_{ab}^\xi + \mu_{ba}^\xi = 1, \forall a, b \in X, a \neq b, \xi = \overline{1, m},$$

здесь ξ -номер критерия.

Значение μ_{ab}^ξ интерпретируется как мера уверенности в том, что при рассмотрении критерия ξ альтернатива “а” не менее предпочтительна, чем альтернатива “b”.

Таким образом, исходная информация базируется на матрицах парных сравнений, определенных для всех рассматриваемых критериев.

Будем считать, что рассматриваемые критерии являются независимыми. В этом случае представим условную полезность альтернативы “а” при рассмотрении альтернативы “b” в виде линейной свертки

$$U(a | b) = \sum_{\xi=1}^m \alpha_\xi \mu_{ab}^\xi.$$

Аналогично, условная полезность альтернативы “b” при рассмотрении альтернативы “а” есть

$$U(b | a) = \sum_{\xi=1}^m \alpha_\xi \mu_{ba}^\xi$$

при ограничениях на веса критериев $\alpha_1, \dots, \alpha_m$, характеризующих их важность, и основанных на строгой линейной упорядоченности (1):

$$\alpha_1 \succ \alpha_2 \succ \dots \succ \alpha_m, \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1, 0 \leq \alpha_i \leq 1. \quad (2)$$

Без ограничения общности будем считать в дальнейшем, что обозначения “а” и “b” используются следующим образом:

$$\sum_{\xi=1}^m \mu_{ab}^{\xi} \geq \sum_{\xi=1}^m \mu_{ba}^{\xi}, \forall a, b \in X, a \neq b. \quad (3)$$

Для построения результирующего отношения на множестве альтернатив X сформулируем задачу минимизации максимального различия условных полезностей альтернатив $a, b \in X, a \neq b$.

При сделанных предложениях эта задача примет следующий вид:

$$\Phi = |U(a) - U(b)| = \sum_{S, \ell=1}^m (\tau_{S\ell} |\alpha_S - \alpha_{\ell}| + \sum_{j=1}^m (\mu_{ab}^j - \sum_{\ell=1}^m \tau_{j\ell}) \alpha_j) \rightarrow \min \quad (4)$$

при ограничениях (2-3):

$$\begin{aligned} \sum_{\ell=1}^m \tau_{S\ell} &\leq \mu_{ab}^S, \\ \sum_{\ell=1}^m \tau_{S\ell} &\leq \mu_{ba}^{\ell}, \\ \tau_{S\ell} &\geq 0, S, \ell = \overline{1, m} \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $\tau_{S\ell}$ интерпретируется как значение оценки альтернативы “а” по критерию K_S при рассмотрении критерия K_{ℓ} для оценки альтернативы “б”. $\mu_{ab}^j - \sum_{\ell=1}^m \tau_{j\ell}$ - минимальное превосходство по полезности альтернативы “а” над альтернативой “б”, обусловленное оценкой по критерию K_j .

Задача (4-5) может быть сведена к транспортной задаче закрытого типа следующего вида:

$$\Phi = \sum_{S=1}^m \sum_{\ell=1}^{m+1} C_{S\ell} * \tau_{S\ell} \rightarrow \min \quad (6)$$

при ограничениях (2-3):

$$\begin{aligned} \sum_{\ell=1}^{m+1} \tau_{S\ell} &= a_S, \\ \sum_{S=1}^m \tau_{S\ell} &= b_{\ell}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \tau_{S\ell} &\geq 0, S = \overline{1, m}, \ell = \overline{1, m+1}; \\ a_S &= \mu_{ab}^S, b_S = \mu_{ba}^S, S = \overline{1, m}; \end{aligned} \quad (8)$$

$$b_{m+1} = \sum_{j=1}^m \mu_{ab}^j - \sum_{j=1}^m \mu_{ba}^j; \quad (9)$$

$$c_{S\ell} = |\alpha_S - \alpha_{\ell}|, c_{S, m+1} = \alpha_S, S, \ell = \overline{1, m}. \quad (10)$$

Основная проблема, которая стоит при решении задачи (2-3, 6-10), заключается в определении значений $\alpha_1, \dots, \alpha_m$. В дальнейшем предлагается метод решения этой задачи,

который не предусматривает знание значений весов $\alpha_1, \dots, \alpha_m$, достаточным является условие (2).

Решение задачи (2-3, 6-10) производится на основе метода [2], в котором первоначально определяется

$$\tau_{SS}^* = \min(\mu_{ab}^S, \mu_{ba}^S), S = \overline{1, m}, \quad (11)$$

далее применяется метод северо-западного угла [5].

На основании предложенного подхода определяется решение

$$\{\tau_{S\ell}^*\}, S = \overline{1, m}, \ell = \overline{1, m+1}. \quad (12)$$

Используя полученное решение (12), построим на множестве альтернатив нечеткое отношение по следующим формулам:

$$\mu_{aa} = 1, \forall a \in X; \quad (13)$$

$$\mu_{ab} = \frac{1}{m} \left(\sum_{S=1}^m \tau_{SS}^* + 2 \sum_{S < K} \tau_{SK}^* + \sum_{\ell=1}^m \tau_{S, m+1}^* \right), S, K = \overline{1, m}, \forall a, b \in X, a \neq b; \quad (14)$$

$$\mu_{ba} = \frac{1}{m} \left(\sum_{S=1}^m \tau_{SS}^* + 2 \sum_{S > K} \tau_{SK}^* \right), S, K = \overline{1, m}, \forall a, b \in X, a \neq b; \quad (15)$$

Решение задачи (2-3, 6-10) - $\{\tau_{S\ell}^*\}$, полученное в результате вычислений по формуле (11) и использовании метода северо-западного угла, является оптимальным для задачи (2-3, 6-10) при любых значениях весов критериев $\alpha_1, \dots, \alpha_m$.

Полученная матрица обратимого нечеткого отношения $A = \{\mu_{ab}\}$ не позволяет сделать окончательное ранжирование множества альтернатив ввиду того, что она построена на основе экспертных данных, и в общем случае не является транзитивной. Рассмотрим основные положения, на основе которых можно вычислить транзитивную матрицу, близкую в какой-то мере полученной. После определения такой сверхтранзитивной матрицы возможно ранжирование исходного множества альтернатив.

Полагаем, что отношение T является нечеткой квазисерией, если оно рефлексивно, обратимо и транзитивно, т.е. выполняются условия:

- 1) $t_{aa} = 1, \forall a \in X$;
- 2) $t_{ab} + t_{ba} = 1, \forall a, b \in X, a \neq b$;
- 3) $t_{ac} \geq \min(t_{ab}, t_{bc}), \forall a, b, c \in X, a \neq b \neq c$.

По нечеткой квазисерии T определяется четкое отношение $S \subseteq X \times X$ по правилу:

$$(a, b) \in S \Leftrightarrow a \neq b, t_{ab} > \frac{1}{2}.$$

Построенная нечеткая квазисерия позволяет разбить множество альтернатив X на классы G_1, \dots, G_ℓ равноценных альтернатив, а сами эти классы линейно упорядочить [4].

Для поиска нечеткой квазисерии T , аппроксимирующей вычисленное нечеткое отношение $A = \{\mu_{ab}\}$, формулируется задача

$$\begin{aligned} \max |\mu_{ab} - t_{ab}| \rightarrow \min, \\ a, b \in X \quad T \in T_X, \\ a \neq b \end{aligned} \quad (16)$$

T_X - множество всех нечетких квазисерий на X .

Введем дополнительную переменную

$$\lambda = \max_{a, b \in X} |\mu_{ab} - t_{ab}|$$

и перепишем эту задачу в виде

$$\begin{aligned} \lambda \rightarrow \min, \\ \mu_{ab} - \lambda \leq t_{ab} \leq \mu_{ab} + \lambda, \\ t_{aa} = 1, \forall a \in X, \\ t_{ab} + t_{ba} = 1, a, b \in X, a \neq b, \\ t_{ac} \geq \min(t_{ab}, t_{bc}), \forall a, b, c \in X, a \neq b \neq c. \end{aligned} \quad (17)$$

Последнее неравенство определяет условие транзитивности по Заде [3]. При этом оптимальное значение функционала может быть найдено по формуле [3]

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{2} V(\mu_{ab}^* + \mu_{ba}^* - 1), a, b \in X, a \neq b,$$

где $\{\mu_{ab}^*\}$ - элементы матрицы транзитивного замыкания матрицы $\{\mu_{ab}\}$.

Определение транзитивного замыкания отношения $A = \{\mu_{ab}\}$ в рамках компьютерной технологии может быть представлено в виде алгоритма по следующим этапам.

Исходное положение. Предварительно зафиксируем уровень $\alpha : 0 \leq \alpha \leq 1$, для него определим матрицу $A_\alpha = \{\mu_{ab}^\alpha\}$

$$\mu_{ab}^\alpha = \begin{cases} 1, & \text{если } \mu_{ab} \geq \alpha; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Заметим, что возможные значения $\alpha : \alpha_1, \dots, \alpha_M$ определяются на основе рассмотрения значений элементов матрицы $A = \{\mu_{ab}\} : 1 \leq M \leq n^2 - n$, или они принимают дискретные значения, например: 1;0,9;...;0,1;0.

Для выбранного значения α построим матрицу $A_\alpha^* = \{\mu_{ab}^{*\alpha}\}$ транзитивного замыкания A_α , определив первоначально $N = \overline{1, n}$.

Будем считать, что множество объектов $X = \{1, \dots, n\}$ отождествляется с множеством вершин взвешенного графа $G=(X,U)$, в котором U - множество дуг. Каждая дуга,

принадлежащая множеству U , имеет свой вес, определяемый матрицей нечеткого обратимого отношения A , т.е. вес дуги (i,j) равен μ_{ij} . Вес пути (i_1, \dots, i_k) определяется как

$$P(i_1, \dots, i_k) = \bigwedge_{\ell=1, k-1}^{\wedge} \mu_{i_\ell i_{\ell+1}}.$$

1 этап. Зафиксируем альтернативу $a \in N$. Если $N \neq 0$, то алгоритм заканчивает свою работ.

2 этап. Если

$$\mu_{ab}^\alpha = 0, \forall b \in \overline{1, n}, a \neq b,$$

то $N = N \setminus a$, переход к 1 этапу.

3 этап. Определим

$$B_1 = \{b_1 \mid \mu_{ab_1}^\alpha = 1, a \neq b_1, b_1 \in X\}.$$

4 этап. Вычислим

$$B_2 = \{b_2 \mid \mu_{b_1 b_2}^\alpha = 1, b_1 \neq b_2, b_2 \in X\},$$

если $B_2 = 0$, то $N = N \setminus a$, переход к первому этапу.

5 этап. Положим

$$\mu_{ab_2}^\alpha = 1, b_2 \in B_2,$$

это определит множество путей, ведущих из вершины a , и состоящих из двух дуг, причем вес таких путей не менее α .

6 этап. Определим аналогично пути, состоящие из 3, 4, ..., n-1 дуг (если они, конечно, существуют).

7 этап. Вычислим $N = N \setminus a$ и перейдем к первому этапу.

Таким образом, получена матрица транзитивного замыкания $A_\alpha^* = \{\mu_{ab}^{*\alpha}\}$, матрицы $A_\alpha = \{\alpha * \mu_{ab}^{(\alpha)}\}$. Подобная процедура проводится при всех значениях $\alpha : \alpha_1, \dots, \alpha_M$. Элементы матрицы транзитивного замыкания нечеткого отношения $A = \{\mu_{ab}\}$ - $A^* = \{\mu_{ab}^*\}$ определяются

$$\text{как } \mu_{ab}^* = \bigvee_{\alpha = \alpha_1, \dots, \alpha_M} (\mu_{ab} \wedge \alpha \mu_{ab}^\alpha).$$

Оценим необходимый объем вычислений для определения элементов матрицы транзитивного замыкания при фиксированном значении α , есть $O(n^3)$.

Определим число операций, необходимое для построения первой строки сверхтранзитивной матрицы. Пусть она имеет k_1 единиц, необходимое число итераций при этом есть $N_1 = O(n^2)$. На втором шаге исследуется k_1 строк, причем рассматриваемое при этом число столбцов равно $(n - k_1)$, тогда число итераций на этом шаге есть $N_2 = (n - k_1) + \dots + (n - k_1)$ (число слагаемых равно k_1), отсюда следует $N_2 \leq n * k_1$. Пусть на втором шаге число столбцов, в которых при рассмотрении k_1 строк стоят единицы, есть k_2 . Тогда на третьем

шаге необходимо выполнить $N_3=(n-k_1-k_2)+\dots+(n-k_1-k_2)$ (число слагаемых равно k_2), отсюда следует, что $N_3 \leq n * k_2$.

Продолжая процесс вычислений, получим, что общее число итераций, необходимое для определения первой строки матрицы транзитивного замыкания A есть

$N = N_1 + N_2 + \dots + N_t < nk_1 + nk_2 + \dots + nk_t = n_t(k_1 + \dots + k_t) \leq n^2$, t – число шагов при определении первой строки сверхтранзитивной матрицы.

Таким образом, для построения первой строки сверхтранзитивной матрицы необходимо $O(n^2)$ операций.

Отсюда следует, что для рассмотрения всех строк матрицы A , т.е. для построения матрицы транзитивного замыкания, необходимо $O(n^3)$ операций.

Таким образом, построение нечеткой квазисерии позволит проранжировать различные варианты с целью выбора перспективного, который будет являться в дальнейшем предметом детального анализа.

Предложенный подход к решению задачи упорядочения альтернатив может быть использован в диалоговой системе моделирования принятия решений [6].

Для оценки альтернативных вариантов, в основном, используются несколько критериев, которые всесторонне характеризуют каждый вариант реализации программы. Т.е. необходимо выбрать наилучшую альтернативу при рассмотрении многих критериев, т.е. необходимо оптимизировать решение в соответствии с несколькими целями [1].

Анализ и оценка рассматриваемых альтернатив осуществляется, обычно, силами экспертов на основе критериев, носящих часто качественный характер. Получаемая при этом от экспертов информация является неформальной. В этих условиях одним из приемлемых методов является аппарат теории нечетких множеств [4]. Этот аппарат обеспечивает возможность рассмотрения субъективных оценок альтернатив, осуществляемых специалистами в определенной предметной области – экспертами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова В.Н. и др. Теория систем: Учебное пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. М.: Высшая школа. 2006. 510 с.
2. Волкова В.Н. и др. Теория систем и системный анализ: Учебник для студентов вузов / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. М.: Изд-во «Юрайт», серия Университеты России. 2010. 679 с.
3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / М.: Мир. 1976. 166с.
4. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь. 1982. 432 с.
5. Кузнецов А.В., Холод Н.И., Костевич Л.С. Руководство к решению задач по математическому программированию / Минск «Высшая школа». 1978.
6. Нечеткие множества и теория возможностей: Последние достижения. Под редакцией Р.Р. Ягера. М.: Радио и связь. 1986.
7. Жуков А.О., Харламов Г.Ю., Харламов Ю.Г. Алгоритмы учета высокочастотных атмосферных искажений в телевизионной ПЗС-фотометрии околоземных космических объектов. Журнал «Нелинейный мир». – М.: Издательство "Радиотехника", Том: 11, № 11. 2013 С. 771-775. ISSN: 2070-0970, <http://elibrary.ru/item.asp?id=21043792>.
8. Келдыш Н.В., Желнов И.И., Мартынов В.А.. ИНФОРМАТИКА. Теоретические основы прикладной информатики, информатика, информационные технологии и основы информационной безопасности. Учебное пособие для студентов I-II курсов [Электронный ресурс] — М.: Мир науки, 2014. — Электрон. опт. диск (CD-ROM); — Загл. с этикетки диска. <http://elibrary.ru/item.asp?id=23155029>.
9. Кравцов А.А., Желнов И.И. О промышленном и экономическом шпионаже, а также недобросовестной конкуренции. Интернет-журнал «Мир Науки». 2014 № 1 (3) [Электронный ресурс]. – М.: 2014. – Режим доступа: <http://mir-nauki.com/PDF/15EMN114.pdf>, свободный – Загл. с экрана. ISSN 2309-4265. Идентификационный номер статьи в журнале: 15EMN114. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21610160>.
10. Гладышев А.И., Жуков А.О. Достоинства и недостатки имитационного моделирования с использованием нейронных сетей. Вестник российского нового университета – М.: Изд. Российский новый университет. № 4. 2013. С. 53-55. ISSN: 1998-4618. <http://elibrary.ru/item.asp?id=20743656>.

Рецензент: Кравцов А.А., Кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий Московского государственного лингвистического университета (МГЛУ).

Bikkuzina Alia Ildarovna
JSC «OKB MEI»
Russia, Moscow
E-mail: aluwa@bk.ru

Zhukov Alexander Olegovich
Moscow State University,
Sternberg Astronomical Institute
Russia, Moscow
E-mail: aozhukov@mail.ru

Zhelnov Iliia Igorevich
JSC «OKB MEI»
Russia, Moscow
E-mail: jelnov-i@yandex.ru

The system support decision making in information-analytical support of the evaluation and prediction of the ecological state of the territory of operation of rocket and space technology

Abstract. The article considered the set of alternatives which are evaluated by experts on a number of criteria, where each alternative is characterized, in general, its own set of specific properties that differ from each other. This circumstance causes the using of multicriteria evaluation of alternatives. The apparatus of the theory of fuzzy sets is used to represent the initial information – knowledge of experts in various subject areas at an early stage of the analysis of alternatives. The proposed approach to problem's solution of ordering the alternatives was used in interactive system for decision-making modeling. Analysis and evaluation of the alternatives considered is carried out, usually by experts based on the criteria having qualitative nature. Obtained in this way from the expert information is informal. Under these conditions, one of the acceptable methods is the apparatus of fuzzy sets theory. This unit provides the opportunity to consider alternatives to subjective assessments carried out by experts in a particular subject area.

Keywords: weight criteria; fuzzy sets; decision-making; the territory of operation of rocket and space technology; expert.

REFERENCES

1. Volkova V.H. i dr. Teoriya sistem: Uchebnoe posobie / V.N. Volkova, A.A. Denisov. M.: Vysshaya shkola. 2006. 510 s.
2. Volkova V.H. i dr. Teoriya sistem i sistemnyy analiz: Uchebnik dlya studentov vuzov / V.N. Volkova, A.A. Denisov. M.: Izd-vo «Yurayt», seriya Universitety Rossii. 2010. 679 s.
3. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh resheniy / M.: Mir. 1976. 166c.
4. Kofman A. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv. M.: Radio i svyaz'. 1982. 432 s.
5. Kuznetsov A.V., Kholod N.I., Kostevich L.S. Rukovodstvo k resheniyu zadach po matematicheskomu programmirovaniyu / Minsk «Vysshaya shkola». 1978.
6. Nechetkie mnozhestva i teoriya vozmozhnostey: Poslednie dostizheniya. Pod redaktsiey R.R. Yagera. M.: Radio i svyaz'. 1986.
7. Zhukov A.O., Kharlamov G.Yu., Kharlamov Yu.G. Algoritmy ucheta vysokochastotnykh atmosferykh iskazheniy v televizionnoy PZS-fotometrii okolozemnykh kosmicheskikh ob"ektov. Zhurnal «Nelineynyy mir». – M.: Izdatel'stvo "Radiotekhnika", Tom: 11, № 11. 2013 S. 771-775. ISSN: 2070-0970, <http://elibrary.ru/item.asp?id=21043792>.
8. Keldysh N.V., Zhelnov I.I., Martynov V.A.. INFORMATIKA. Teoreticheskie osnovy prikladnoy informatiki, informatika, informatsionnye tekhnologii i osnovy informatsionnoy bezopasnosti. Uchebnoe posobie dlya studentov I-II kursov [Elektronnyy resurs] — M.: Mir nauki, 2014. — Elektron. opt. disk (CD-ROM); — Zagl. s etiketki diska. <http://elibrary.ru/item.asp?id=23155029>.
9. Kravtsov A.A., Zhelnov I.I. O promyshlennom i ekonomicheskom shpionazhe, a takzhe nedobrosovestnoy konkurentsii. Internet-zhurnal «Mir Nauki». 2014 № 1 (3) [Elektronnyy resurs]. – M.: 2014. – Rezhim dostupa: <http://mir-nauki.com/PDF/15EMN114.pdf>, svobodnyy – Zagl. s ekrana. ISSN 2309-4265. Identifikatsionnyy nomer stat'i v zhurnale: 15EMN114. <http://elibrary.ru/item.asp?id=21610160>.
10. Gladyshev A.I., Zhukov A.O. Dostoinstva i nedostatki imitatsionnogo modelirovaniya s ispol'zovaniem neyronnykh setey. Vestnik rossiyskogo novogo universiteta – M.: Izd. Rossiyskiy novyy universitet. № 4. 2013. S. 53-55. ISSN: 1998-4618. <http://elibrary.ru/item.asp?id=20743656>.