

2-симплекс призма — когнитивное средство принятия и обоснования решений в интеллектуальных динамических системах*

А. Е. Янковская^{1,2,3,4}, А. В. Ямшанов⁴, Н. М. Кривдюк⁴

ayuankov@gmail.com, yav@keva.tusur.ru, skratnat@gmail.com

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2

²Томский государственный университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

³Сибирский государственный медицинский университет, Россия, г. Томск, Московский тракт, 2

⁴Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40

Для ряда проблемных и междисциплинарных областей, таких как медицина, биомедицина, экогеология, образование, дорожное строительство, впервые в интеллектуальных динамических системах предлагается для принятия и обоснования решений применять оригинальное когнитивное средство — 2-симплекс призму. Идея применения n -симплексов, теорема для принятия и обоснования решений на основе n -симплексов и использование ее в интеллектуальных системах (ИС) впервые предложены А. Е. Янковской в 1990 г. Описывается применение 2-симплекс призмы для принятия и обоснования решений в интеллектуальных динамических системах, основанных на тестовых методах распознавания образов, нечеткой и пороговой логиках.

Ключевые слова: 2-симплекс призма; n -симплекс; когнитивное средство; принятие решений; обоснование решений; интеллектуальные системы; интеллектуальные динамические системы; тестовые методы распознавания образов; нечеткая логика; пороговая логика; области применения 2-симплекс призмы

DOI: 10.21469/22233792.1.14.04

1 Введение

Когнитивная графика как научное направление, связанное с принятием и обоснованием решений в ИС, начала развиваться с 1970-х гг. Значительный вклад в развитие когнитивных средств внесли R. Axelrod [1], R. G. Basaker и T. L. Saati [2], Д. А. Поспелов [3, 4], Д. А. Поспелов с соавт. [5], А. А. Зенкин [6, 7], В. А. Албу и В. Ф. Хорошевский [8], Б. А. Кобринский [9], А. Е. Янковская [10], А. Е. Янковская с соавт. [11, 12].

Растущий интерес к разработке и использованию прикладных ИС стимулирует спрос на создание графических, включая когнитивные, средств визуализации различных информационно-структур, выявленных закономерностей, а также принятия и обоснования решений. Графические изображения на экране компьютера упрощают восприятие и понимание закономерностей в данных и знаниях.

В настоящее время средства когнитивной графики широко используются в различных ИС для решения разнообразных задач для проблемных и междисциплинарных областей: медицина, образование, геология, проектирование, радиоэлектроника, социология, психология, психиатрия, экобиомедицина, экогеология и др. Средства когнитивной графики

*Работа поддержана грантами РФФИ (проекты №№ 13-07-00373, 13-07-98037 и 14-07-00673) и частично РГНФ (проект № 13-06-00709).

широко применяются в разнообразных ИС: для анализа информационных структур, выявления различного рода закономерностей в данных и знаниях, принятия и обоснования принятия результатов решения; в интеллектуальных обучающе-тестирующих системах: для визуализации и прогнозирования результатов процесса обучения, для оптимизации учебного процесса и др.

Весьма актуальным является применение когнитивных средств для анализа и визуализации динамических процессов при принятии и обосновании решений. Например, преподавателю необходимо учитывать полученные респондентами в ходе обучения результаты, для постановки итоговой оценки или врачу для отслеживания осуществленных мероприятий в ходе лечения пациентов в целях успешного лечения. Применение когнитивной графики при принятии решений существенно упрощает анализ информации и способствует принятию оптимального решения.

Предлагаемая статья является продолжением исследования применения когнитивных средств, основанных на n -симплексе [13, 14]. Несомненным преимуществом когнитивных средств, основанных на n -симплексе, является инвариантность к проблемным областям. Отметим, что целесообразно создание средств когнитивной графики с использованием современных технологий и с учетом всех доступных платформ: desktop-приложения (приложения для настольного персонального компьютера), приложения для смартфонов и планшетов, WEB-приложения.

Ниже описываются математические основы представления исследуемого объекта в 2-симплексе и основы представления исследуемого объекта (процесса) на базе 2-симплекс призмы; приводятся примеры применения 2-симплекс призмы в разработанных, а также разрабатываемых ИС; предлагаются дальнейшие направления исследований.

2 Математические основы представления исследуемого объекта в 2-симплекс призме

В основе принятия и обоснования решений, а также графической визуализации правильного n -симплекса лежит следующая теорема, сформулированная в [15, 16].

Теорема. Для любого набора одновременно не равных нулю чисел a_1, a_2, \dots, a_{n+1} , где n — размерность правильного n -симплекса, можно найти одну и только одну такую точку, что $h_1 : h_2 : \dots : h_{n+1} = a_1 : a_2 : \dots : a_{n+1}$, где $h_i, (i = 1, \dots, n + 1)$ — расстояние этой точки до i -й грани [15, 16]. Коэффициент $a_i, (i = 1, \dots, n + 1)$ представляет собой степень условной близости исследуемого объекта к i -му образу.

Эта теорема использовалась при построении более чем тридцати прикладных интеллектуальных системах и трех инструментальных средств, предназначенных для выявления различного рода закономерностей и принятия диагностических, организационно-управленческих и классификационных решений, для принятия решения и их обоснования.

Далее приведем соотношения между коэффициентами и высотами для 2-симплекса. Поскольку 2-симплекс обладает свойством постоянства суммы расстояний (h) из любой точки до его граней и свойством сохранения отношений между этими расстояниями $h_1 : a_1 = h_2 : a_2 = h_3 : a_3$, то расстояния h_1, h_2, h_3 от точки до сторон треугольника вычисляются на основе коэффициентов $a_i (i \in 1, 2, 3)$ и операции нормализации исходя из следующих соотношений:

$$\begin{aligned}
 H &= \sum_{i=1}^3 h_i; \\
 H &= A \sum_{i=1}^3 a_i; \\
 \frac{h_1}{a_1} &= \frac{h_2}{a_2} = \frac{h_3}{a_3}
 \end{aligned}$$

по формуле:

$$h_i = Aa_i, \quad i \in \{1, 2, 3\}.$$

Когнитивное средство 2-симплекс призма представляет собой правильную треугольную призму, содержащую в основаниях и срезах 2-симплексы, зафиксированные в конкретные моменты времени. В целях вычисления расстояния от основания призмы до 2-симплекса h_2 введем следующие параметры: H_2 — высота 2-симплекс призмы, задаваемая пользователем и сопоставленная продолжительности исследования; t — момент фиксации параметров исследуемого объекта; T_{\min} — момент первой фиксации параметров исследуемого объекта; T_{\max} — момент последней фиксации параметров исследуемого объекта. Расстояние h_2 вычисляется по следующей формуле:

$$h_2 = H_2 \frac{t - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}}.$$

3 Применение 2-симплекс призмы в различных проблемных областях

Когнитивное средство 2-симплекс призма предназначено для применения в различных проблемных и междисциплинарных областях. Рассмотрим примеры применения 2-симплекс призмы в различных областях: (1) диагностики и интервенции организационного стресса (ОС); (2) экспресс-диагностики и профилактики депрессии; (3) образовании.

Рассмотрим пример диагностики и интервенции ОС с использованием 2-симплекс призмы в ИС экспресс-диагностики и интервенции ОС (ДИОС) [17], основанной на идее трехступенчатой диагностики и выбора интервенции на базе сконструированного авторами опросника [17, 18] по каждой из трех стадий ОС (1 — напряжения; 2 — адаптации; 3 — истощения) и базируемой на пороговой и нечеткой логиках [19, 20]. Идея трехступенчатой диагностики ОС позволяет в более короткие сроки оказывать дифференцированную помощь при наличии ОС у обследуемых.

Для экспресс-диагностики ОС используется опросник, включающий вопросы по трем стадиям ОС: 1 — напряжения (возбуждения); 2 — адаптации (сохранения энергии); 3 — истощения. В основе опросника лежит концепция Г. Селье [21]. В 1-й и 2-й стадиях используется 7 признаков (симптомов) для выявления ОС; в 3-й стадии — 8 признаков, причем количество значений каждого признака равно 5 (никогда — 0; редко — 0,25; иногда — 0,5; часто — 0,75; постоянно — 1).

После проведения тестирования система обрабатывает анкету исследуемого и выдает результаты диагностики ОС по каждой из стадий. Полученные результаты передаются в модуль когнитивной графики. В случае если не предусмотрено исследование динамики развития ОС, то для принятия и обоснования используется когнитивное средство 2-симплекс. Если необходимо наблюдение в динамике за обследуемым, то используется 2-симплекс призма. Отображаемая динамика результатов по диагностике ОС с применением

2-симплекс призмы позволяет определить степень близости к тому или иному диагнозу на каждом этапе лечения.

2-симплекс призма одновременно отображает только три образа, однако ИС ДИОС выявляет как 3 стадии ОС (возбуждения, адаптация, истощение), так и отсутствие стресса. В связи с этим предлагается для отображения динамики использовать две 2-симплекс призмы: первая предназначена для отображения динамики для трех стадий ОС (рис. 1), вторая — для отображения двух первых стадий и факта отсутствия стресса (рис. 2). Отметим, что если у обследуемого история развития болезни укладывается в рамки диагнозов, сопоставленных сторонам одной из двух 2-симплекс призм, то целесообразно использовать только одну призму. Также заметим, что в 2-симплекс призме используются когнитивные свойства, представленные цветовой палитрой для отображения опасности диагнозов и сопоставляемых им образов, например, красным цветом отображается самая тяжелая стадия ОС — истощение. Кроме того, поскольку рис. 1 и 2 используют перспективную проекцию, может создаться ощущение, что линии, соединяющие точки и грани, не перпендикулярны граням.

Представим иллюстративный пример, когда история развития болезни не укладывается в рамки диагнозов, сопоставленных сторонам одной 2-симплекс призмы, а необходимо использовать две 2-симплекс призмы. При этом проведено 5 тестов по определению стадии ОС. В первой 2-симплекс призме отображены результаты 1-, 2-, 3- и 4-го тестов, во второй 2-симплекс призме отображены результаты 3-, 4- и 5-го тестов. На рис. 1 представлена 2-симплекс призма, отображающая первую часть лечения обследуемого со стадии истощения (3) до стадии возбуждения (1).

Первый тест (T_1) выявил у обследуемого стадии адаптации (2) и истощения (3), причем стадия истощения преобладает над стадией адаптации и существенно преобладает над стадией возбуждения (1). Второй тест (T_2) выявил, что болезнь развивается от стадии истощения (3) к стадии адаптации (2). Третий тест (T_3) выявил, что болезнь развилась до уровня, находящегося между стадией адаптации (2) и возбуждения (1). Четвертый тест (T_4) выявил преобладание стадии возбуждения (1).

Вторая 2-симплекс призма (см. рис. 2) отображает процесс перехода от стадии адаптации (2) к отсутствию стресса (0).

Пятый тест (T_5) выявил отсутствие ОС.

Рассмотрим отображение результатов тестирования качества знаний респондентов в модуле интерпретации результатов обучающе-тестирующей системы с использовани-

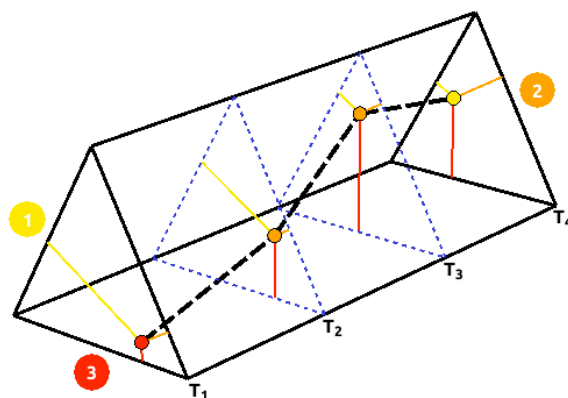


Рис. 1 Отображение результатов четырех тестов диагностики ОС в 2-симплекс призме

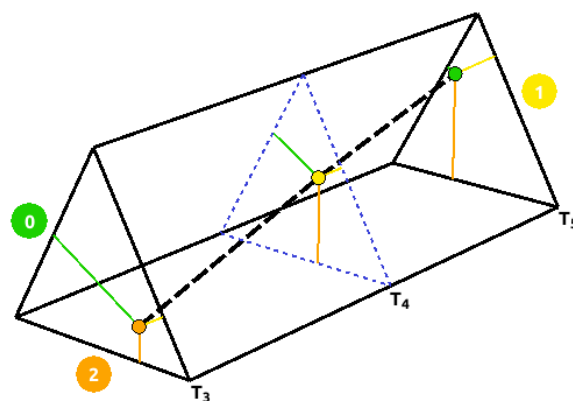


Рис. 2 Отображение результатов пяти диагностик ОС в 2-симплекс призме

ем оценочных коэффициентов, определяющих насколько хорошо респондент справляется с различными заданиями на основе способностей (навыков) [22]. В разрабатываемой авторами обучающе-тестирующей системе респондент после изучения выбранной дисциплины проходит смешанный диагностический тест, представляющий собой оптимальное сочетание условной и безусловной составляющей [23]. Во время прохождения смешанного диагностического теста (СДТ) формируется карта действий респондента (КДР). После прохождения респондентом СДТ КДР проецируется в набор оценочных коэффициентов на основе следующих способностей (навыков): (1) запоминание и воспроизведение учебного материала в неизменном виде; (2) воспроизведение учебного материала в измененном виде; (3) извлечение новых знаний на основе изученного учебного материала; (4) решение новых задач и т. д.

При разработке клиент-серверной программной системы с мультимедийными возможностями целесообразен перевод набора оценочных коэффициентов в следующие показатели: (1) решение задач, требующих большой сосредоточенности; (2) решение нетривиальных задач; (3) быстрая обучаемость и знание большого количества технологий.

Отметим, что при оценке способностей респондентов на основе оценочных коэффициентов возможна ситуация, когда респондент одинаково владеет или не владеет знаниями по оцениваемым способностям. Это отображается кругом в центре 2-симплекса, что затрудняет визуально определить значение показателей. С целью разделения этих двух состояний используется цветовая индикация — насыщенность цвета для круга, отображающего прохождение теста, сопоставлена набранному количеству баллов по тесту (рис. 3).

На основе 2-симплекс призмы предлагается осуществлять анализ динамики развития способностей как респондента, так и группы респондентов. Используя 2-симплекс призму, как и любое графическое средство, необходимо учитывать, что отображение результатов большой группы респондентов резко увеличивает сложность анализа.

Применение 2-симплекс призмы не ограничивается вышеописанными примерами.

4 Заключение

Одним из важных свойств отображения информации в 2-симплекс призме является возможность анализировать динамику положения исследуемого объекта на заданном временном интервале, что позволяет пользователям принимать и обосновывать принимаемые решения, анализируя изменение параметров исследуемого объекта.

- [12] *Yankovskaya A. E., Galkin D. V., Chernogoryuk G. E.* Computer visualization and cognitive graphics tools for applied intelligent systems // IASTED Conference (International) on Automation, Control and Information Technology Proceedings, 2010. Vol. 1. P. 249–253. doi: <http://dx.doi.org/10.2316/P.2010.691-081>
- [13] *Янковская А. Е., Тетенев Ф. Ф., Черногорюк Г. Э.* Отражение образного мышления специалиста в интеллектуальной распознающей системе патогенеза заболевания // Компьютерная хроника, 2000. № 6. С. 77–92.
- [14] *Yankovskaya A. E., Mozheiko V. I.* Optimization of a set of tests selection satisfying the criteria prescribed // 7th Conference (International) on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies Proceedings. — St. Petersburg: SPbETU, 2004. Vol. I. С. 145–148.
- [15] *Янковская А. Е.* Преобразование пространства признаков в пространство образов на базе логико-комбинаторных методов и свойств некоторых геометрических фигур // Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии: Тез. докл. I Всесоюзной конф. — Минск, 1991. Ч. II. С. 178–181.
- [16] *Кондратенко С. В., Янковская А. Е.* Система визуализации TRIANG для обоснования принятия решений с использованием когнитивной графики // Тез. докл. III Конф. по искусственному интеллекту. — Тверь, 1992. Т. I. С. 152–155.
- [17] *Янковская А. Е., Китлер С. В., Силаева А. В.* Интеллектуальная система диагностики и интервенции организационного стресса: ее развитие и апробация // Открытое образование, 2012. № 2(91). С. 61–69.
- [18] *Корнетов Н. А., Янковская А. Е., Китлер С. В., Силаева А. В., Шагалова Л. В.* К вопросу динамики развития представлений об организационном стрессе и подходов к его оценке // Фундаментальные исследования. 2011. № 10. Ч. 3. С. 598–603.
- [19] *Beck A. T., Ward C., Mendelson M.* Beck Depression Inventory (BDI) // Arch. Gen. Psychiat., 1961. Vol. 4. No. 6. P. 561–571.
- [20] *Zadeh, L. A.* Fuzzy logic, neural networks, and soft computing // Commun. ACM, 1994. Vol. 37. No. 3. P. 77–84. doi: <http://dx.doi.org/10.1145/175247.175255>
- [21] *Selye H.* A syndrome produced by diverse nocuous agents // Nature, 1936. Vol. 138. P. 32. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/138032a0>
- [22] *Янковская А. Е., Шурыгин Ю. А., Ямшанов А. В., Кривдюк Н. М.* Определение уровня усвоенных знаний по обучающему курсу, представленному семантической сетью // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: Мат-лы V Междунар. науч.-техн. конф. — Минск: БГУИР, 2015. С. 331–339.
- [23] *Янковская А. Е.* Логические тесты и средства когнитивной графики. — LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 92 с.
- [24] *Yankovskaya A., Krivdyuk N.* Cognitive graphics tool based on 3-simplex for decision-making and substantiation of decisions in intelligent system // IASTED Conference (International) on Technology for Education and Learning Proceedings, 2013. P. 463–469. doi: <http://dx.doi.org/10.2316/P.2013.808-017>
- [25] *Янковская А. Е., Ямшанов А. В., Кривдюк Н. М.* Средства когнитивной графики в интеллектуальных обучающе-тестирующих системах // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: Мат-лы IV Междунар. науч.-техн. конф. — Минск: БГУИР, 2014. С. 303–308.

Поступила в редакцию 26.06.15

2-simplex prism — a cognitive tool for decision-making and its justifications in intelligent dynamic systems*

A. E. Yankovskaya^{1,2,3,4}, A. V. Yamshanov⁴, and N. M. Krivdyuk⁴

ayyankov@gmail.com, yav@keva.tusur.ru, skratnat@gmail.com

¹Tomsk State University of Architecture and Building, 2 Solyanaya Sq., Tomsk, Russia

²Tomsk State University, 36 Pr. Lenina, Tomsk, Russia

³Siberian State Medical University, 2 Moskovskiy trakt, Tomsk, Russia

⁴Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, 40 Pr. Lenina, Tomsk, Russia

The cognitive tool 2-simplex prism is first proposed for application at decision-making and its justification in intelligent dynamic systems for different problem areas: medicine, biomedicine, ecogeology, education, road building etc. The idea of n-simplex application, the theorem for decision-making and its justification for intelligent systems proposed by A. Yankovskaya in 1990 year. Usage of 2-simplex prism for application at decision-making and its justification in intelligent dynamic systems based on test methods of pattern recognition and methods of fuzzy and threshold logics is described.

Keywords: *2-simplex prism; n-simplex; cognitive tool; decision-making; justification; intelligent systems; intelligent dynamic systems; test methods of pattern recognition; fuzzy logic; threshold logic; areas of 2-simplex prism application*

DOI: 10.21469/22233792.1.14.04

References

- [1] Axelrod, R. 1976. *The structure of decision: Cognitive maps of political elites*. Princeton University Press. 395 p.
- [2] Basaker, R. G., and T. L. Saati. 1965. *Finite graphs and networks: An introduction with applications*. New York, NY – London – Toronto: Research Analysis Corp., Mc Graw Hill Co. 294 p.
- [3] Pospelov, D. A. 1992. Cognitive graphics — a window into the new world. *Software Products Systems* 2:4–6. (In Russian.)
- [4] Pospelov, D. A. 1996. Ten “hot spots” in research on artificial intelligence *Intelligent Systems (MSU)* 1(1-4):47–56. (In Russian.)
- [5] Pospelov, D. A., and L. V. Litvintseva. 1996. How to combine left and right? *News Artificial Intelligence* 2:66–71. (In Russian.)
- [6] Zenkin, A. A. 1991. *Cognitive computer graphics*. Moscow: Nauka. 192 p. (In Russian.)
- [7] Zenkin, A. A. 1996. Knowledge-generating technologies of cognitive reality. *News Artificial Intelligence* 2:72–78. (In Russian.)
- [8] Albu, V. A., and V. F. Khoroshevskiy. 1990. COGR — Cognitive graphics system, design, development, application. *Russ. Acad. Sci. Bull. Technical Cybernetics* 5:105–118. (In Russian.)
- [9] Kobrinskiy, B. A. 1996. Why should we take into account imaginary thinking and intuition in medical expert systems. *5th National Conference with International Participation “Artificial Intelligence-96” Proceedings*. Kazan. 2:110–117. (In Russian.)
- [10] Yankovskaya, A. E. 1997. Decision-making and decision-justification using cognitive graphics methods based on the experts of different qualification. *Russ. Acad. Sci. Bull., Theory and Control Systems* 5:125–126. (In Russian.)

*The work is supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 13-07-00373, 13-07-98037 and 14-07-00673) and partially supported by the Russian Humanitarian Scientific Foundation (project 13-06-00709).

- [11] Yankovskaya, A., and D. Galkin. 2009. Cognitive computer based on n - m multiterminal networks for pattern recognition in applied intelligent systems. *Conference GraphiCon'2009 Proceedings*. Moscow: Maks Press. 299–300.
- [12] Yankovskaya, A. E., D. V. Galkin, and G. E. Chernogoryuk. 2010. Computer visualization and cognitive graphics tools for applied intelligent systems. *IASTED Conference (International) on Automation, Control and Information Technology Proceedings*. 1:249–253. doi: <http://dx.doi.org/10.2316/P.2010.691-081>
- [13] yank2000mirror Yankovskaya, A. E., F. F. Tetenev, and G. E. Chernogoryuk. 2000. Reflection of creative thinking expert in intellectual pattern recognition system disease pathogenesis. *Computer Chronicle* 6:77–92. (In Russian.)
- [14] Yankovskaya, A. E., and V. I. Mozheiko. 2004. Optimization of a set of tests selection satisfying the criteria prescribed. *7th Conference (International) on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies Proceedings*. St. Petersburg: SPbETU. I:145–148.
- [15] Yankovskaya, A. E. 1991. Transformation of features space in patterns space on the base of the logical-combinatorial methods and properties of some geometric figures. *Conference (International) on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information: Abstracts*. Minsk. II:178–181. (In Russian.)
- [16] Kondratenko, S. V., and A. E. Yankovskaya. 1992. System of visualization TRIANG for decision-making substantiation with use of cognitive graphics. *3rd Conference on Artificial Intelligence Proceedings*. Tver. I:152–155. (In Russian.)
- [17] Yankovskaya, A. E., S. V. Kitler, and A. V. Silaeva. 2012. Intelligent system of diagnostics and intervention of organizational stress: Its development and testing. *Open Education* 2(91):61–69. (In Russian.)
- [18] Kornetov, N. A., A. E. Yankovskaya, S. V. Kitler, A. V. Silaeva, and L. V. Shagalova. 2011. About development dynamics of representations about organizational stress and approaches to its evaluation. *Fundamental Research* 10(3):598–603. (In Russian.)
- [19] Beck, A. T., C. Ward, and M. Mendelson. 1961. Beck Depression Inventory (BDI). *Arch. Gen. Psychiat.* 4(6):561–571.
- [20] Zadeh, L. A. 1994. Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. *Commun. ACM* 37(3):77–84. doi: <http://dx.doi.org/10.1145/175247.175255>
- [21] Selye, H. 1936. A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature* 138:32. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/138032a0>
- [22] Yankovskaya, A. E., Y. A. Shurigin, A. V. Yamshanov, and N. M. Krivdyuk. 2015. Determination of the student knowledge level on the base of a training course which is presented by a semantic network. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2015) Proceedings*. Minsk: BSUIR. 331–339. (In Russian.)
- [23] Yankovskaya, A. E. 2011. *Logic tests and cognitive graphic tools*. LAP LAMBERT Academic Publishing. 92 p.
- [24] Yankovskaya, A. E., and N. M. Krivdyuk. 2013. Cognitive graphics tool based on 3-simplex for decision-making and substantiation of decisions in intelligent system. *IASTED Conference (International) Technology for Education and Learning Proceedings*. 463–469. doi: <http://dx.doi.org/10.2316/P.2013.808-017>
- [25] Yankovskaya, A. E., A. V. Yamshanov, and N. M. Krivdyuk. 2014. Cognitive graphic tools in intelligent training-testing systems. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2014) Proceedings*. Minsk: BSUIR. 303–308. (In Russian.)

Received June 26, 2015