



# OSTIS-2014

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 007.52:004.81

## СРЕДСТВА КОГНИТИВНОЙ ГРАФИКИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩЕ-ТЕСТИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ

Янковская А.Е. \*, Ямшанов А.В. \*\*, Кривдюк Н.М. \*\*

*\* Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
Томский государственный университет,  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
г. Томск, Россия  
ayyankov@gmail.com*

*\*\* Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
г. Томск, Россия  
yav@keva.tusur.ru  
knm@kcup.tusur.ru*

В работе приводятся предложенный подход к оценке качества обучения респондентов, математические основы отображения исследуемого объекта в 3-симплексе, архитектура обучающе-тестирующей системы, рассматривается отображение результатов тестирования и динамики обучения в 3-симплексе, приводятся иллюстрирующие примеры. Предлагается осуществлять разбиение респондентов на группы по степени обучаемости. Описывается программная реализация модуля визуализации 3-симплекса. Приводятся преимущества применения 3-симплекса при создании интеллектуальных обучающе-тестирующих систем и перспективы дальнейшего развития модуля визуализации.

**Ключевые слова:** средства когнитивной графики, интеллектуальные обучающе-тестирующие системы, п-симплекс, программный модуль.

### Введение

Когнитивная графика, как научное направление, связанное с принятием и обоснованием решений в интеллектуальных системах (ИС), начала развиваться с 60-х годов XX столетия. Значительный вклад в развитие когнитивной науки внесли R. Axelrod [Axelrod, 1976], R.G. Basaker [Basaker, 1965] Д.А. Поспелов [Pospelov, 1991, 1992, Поспелов, 1996], А.А. Зенкин [Zenkin, 1991, Зенкин, 1996], В.Ф. Хорошевский [Albu, 1990], Б.А. Кобринский [Kobrinskiy, 1995], А.Е. Янковская [Янковская, 1997, Yankovskaya, 2009, 2010, 2013-2].

Принятие и обоснование решений в ИС с использованием разнообразных когнитивных средств, инвариантных к проблемным областям, ориентированных на пользователей различной квалификации и обладающих различным потенциалом интеллектуальной энергии, представлены в статьях [Янковская, 1994, 1996, 1997, 2000-1, 2000-2, 2000-3, 2011-1, Yankovskaya, 2009, 2010]. Идея сочетания в ИС разнообразных, имеющих и не имеющих отображение в обычной

реальности когнитивных средств при представлении информационных структур, выявлении закономерностей, а также принятии и обосновании решений, а также в целях тестирования и обучения частично отражена в статьях [Янковская, 1994, 1996, 2000-1, 2000-2, 2000-3, Yankovskaya, 2013-1].

Актуальность проводимых нами исследований связана с созданием систем управления качеством подготовки специалистов, осуществляемой как в ВУЗах, так и в других учебных заведениях, включая учреждения по дополнительному образованию и для переподготовки кадров.

В настоящее время, насколько нам известно, тестирование знаний студентов, называемых далее респондентами, проводится на основе безусловных диагностических тестов с использованием среды Интернет в режиме off-line или on-line. Как правило, в обучающе-тестирующих системах весьма слабо развита объяснительная компонента результатов тестирования и организация диалога с респондентом. Кроме того проверка тестирования по конечному результату (ответу), тем более на основе меню и с использованием безусловных

диагностических тестов, не всегда возможна, но всегда примитивна [Янковская, 2011-2].

В связи с вышеуказанным мы предлагаем построение обучающе-тестирующих систем проводить на основе смешанных диагностических тестов, представляющих собой оптимальное сочетание безусловных и условных составляющих [Yankovskaya, 1996], а обоснование результатов обучения и тестирования осуществлять с применением когнитивных средств на основе 2- и 3-симплексов.

О применении основанных на n-симплексе средств когнитивной графики для принятия и обоснования решений, и используемых для интерпретации и обоснования результатов обучения и тестирования, а также для анализа динамики результатов обучения и тестирования в доступной нам литературе не известно.

В данной статье приводится предложенный подход к оценке качества обучения респондентов, математические основы отображения исследуемого объекта в 3-симплексе, рассматривается отображение результатов обучения и тестирования в 3-симплексе, а также визуализация 3-симплекса.

## 1. Основы оценки качества обучения

Для оценки качества обучения предлагается использовать средства когнитивной графики, основанные на 2- и 3-симплексе в обучающе-тестирующих системах, являющиеся развитием когнитивных средств приведенных в статьях [Янковская, 1996, Yankovskaya, 2013-2].

Далее в процессе изложения будем использовать термин дидактическая единица [ФЦОЗ, 2013]. "Дидактическая единица (ДЕ) - элемент содержания учебного материала, изложенного в виде утвержденной в установленном порядке программы обучения в рамках определенной профессиональной дисциплины или общеобразовательного предмета. Дидактическая единица - одна из предметных тем, подлежащих обязательному освещению в процессе подготовки специалистов, обучающихся по данной дисциплине (предмету)."

Для проверки качества обучения (например, по ЕГЭ и ФЭПО), используется следующий подход:

1. Каждому тестовому вопросу сопоставляется выраженный в баллах вес, зависящий от сложности рассматриваемого вопроса и вклад в конечную оценку респондента. Вопросы для каждой ДЕ разбиваются на группы схожих вопросов. Все вопросы в группе имеют одинаковый вес и любое сочетание вопросов, полученное выбором одного из них по каждой группе, полностью покрывает ДЕ. Тест строится по группе ДЕ. Для каждого респондента генерируется псевдослучайным образом тест, составленный из вопросов из каждой группы. Так как для закрытых вопросов теста с одним правильным ответом существует большая вероятность угадать

правильный ответ, часть вопросов представляется в другой форме, более сложной для случайного угадывания. Примерами таких вопросов могут быть вопросы: с возможностью указать несколько правильных ответов; с полем для ввода ответа; на сопоставление пар, порядка и т.д.

2. Вычисляется суммарное количество баллов для всех правильно отвеченных вопросов, а также количество баллов для частично-правильных ответов, причем количество баллов для таких ответов может быть вычислено по-разному: либо часть баллов, либо ноль. На основе заранее заданных порогов тех или иных ответов суммарное количество баллов переводится в одну из оценок: неудовлетворительно (2), удовлетворительно (3), хорошо (4), отлично (5).

3. Результаты прохождения теста оценивается как отношение количества баллов, полученных в результате правильного ответа на вопросы теста, к максимально возможному количеству баллов, которое можно набрать, правильно ответив на все вопросы. Кроме того каждое ДЕ, входящее в тест, оценивается по вышеописанной схеме, но учитываются только вопросы, относящиеся к конкретной ДЕ.

4. Динамика результатов обучения (тестирования) отображается на плоскости (рис. 1): по оси X откладывается дата прохождения теста, а по оси Y – оценка результатов прохождения теста (ДЕ). Такое отображение позволяет с достаточной степенью наглядности представить успешность обучения респондента. Отметим, что используется  $m+1$  график, где  $m$  – количество ДЕ. На первом графике отображается динамика по всем вопросам теста, а на каждом последующем - по вопросам, относящимся к конкретной ДЕ. На рис. 1 величина  $m$  равна 3.

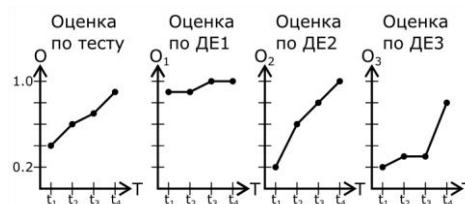


Рисунок 1. Результаты прохождения теста и трех дидактических единиц

Применение средств когнитивной графики, а именно 2- и 3-симплексов, позволяет повысить интерпретируемость и обоснованность результатов тестирования качества обучения.

Оценка результатов обучения и тестирования может быть осуществлена на основе различных подходов к распознаванию образов, включая предложенный в [Yankovskaya, 2013-1] подход, основанный на сочетании нечеткой и пороговой логики. При этом в качестве исследуемого объекта выступает результат тестирования респондента.

## 2. Математические основы отображения исследуемого объекта в n-симплексе

В основе принятия и обоснования решений в обучающе-тестирующих системах лежит следующая теорема, предложенная в публикациях [Янковская, 2000-3, 2004].

**Теорема:** для любого набора одновременно не равных нулю чисел  $a_1, a_2, \dots, a_{n+1}$ , где  $n$  – размерность правильного 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  $h_i$  ( $i \in \{1, 2, \dots, n+1\}$ ) – расстояние этой точки до  $i$ -ой грани [Янковская, 1991, Кондратенко, 1992].

При  $n=3$  коэффициент  $a_i$  ( $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) представляет собой степень условной близости исследуемого объекта к  $i$ -му образу.

Поскольку 3-симплекс обладает свойством постоянства суммы расстояний ( $h$ ) из любой точки до его граней и свойством сохранения отношений  $h_1/a_1=h_2/a_2=h_3/a_3=h_4/a_4$ , то расстояния  $h_1, h_2, h_3, h_4$  вычисляются на основе коэффициентов  $a_i$  ( $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) и операции нормализации из следующих соотношений

$$\begin{cases} h = \sum_{i=1}^4 h_i \\ h = \alpha \sum_{i=1}^4 a_i \\ \frac{h_1}{a_1} = \frac{h_2}{a_2} = \frac{h_3}{a_3} = \frac{h_4}{a_4} \end{cases}, \quad (2)$$

по формуле

$$h_i = \frac{h \cdot a_i}{\sum_{i=1}^4 a_i}, \text{ при } i \in \{1, 2, \dots, 4\}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент масштабирования.

Данная теорема использовалась в более чем тридцати прикладных интеллектуальных системах и в трех инструментальных средствах выявления различного рода закономерностей и принятия диагностических, организационно-управленческих и классификационных решений в целях принятия и обоснования принимаемых решений.

Далее при изложении будем использовать термин n-симплекс, опустив слово правильный.

## 3. Архитектура обучающе-тестирующей системы на основе 3-симплекса

Поскольку рамки доклада ограничены, то опустим создание математических моделей для обучающе-тестирующих систем и описание самой системы, а приведем только основные составляющие модули системы и её архитектуру (рис. 2).

Представим последовательность обучения (тестирования) респондента по очередной ДЕ:

1. Производится обучение респондента.
2. Псевдослучайно генерируется тест из набора вопросов ДЕ.
3. Результаты пройденного теста передаются в модуль распознавания образов, который, основываясь на дополнительной информации о вопросах, невидимой для респондента, получает численные значения о степени близости к одному или иному образу. Для интерпретации и обоснования динамики обучения респондента эта информация также сохраняется в базе результатов.
4. Коэффициенты близости к образам являются исходными данными для модуля интерпретации результатов. Они визуализируются с использованием графика и n-симплекса. Преподаватель наблюдает на графиках и 3-симплексе интерпретацию результатов прохождения теста и динамику обучения респондентов, видит закономерности при обучении группы респондентов со сходной динамикой обучения и т.д. Восприятие информации по степени обучаемости респондентов повышается путем применения автоматической кластеризации респондентов по степени обучаемости, что отображено далее на рис. 5.
5. Определяется, имеются ли еще такие ДЕ, по которым не проведено обучение. Если да, то осуществляем переход к пункту 1, иначе аналогичным образом осуществляется тестирование.
6. Если обучение и тестирование пройдено для всех респондентов, то считается, что процедура обучения и тестирования закончена.

Для визуализации и обоснования динамики результатов прохождения теста предлагается использовать 3-симплекс, отображающий четыре образа (результата тестирования): неудовлетворительно (2), удовлетворительно (3), хорошо (4), отлично (5).



Рисунок 2. Архитектура системы тестирования респондентов, интерпретации и обоснования результатов

#### 4. Иллюстрирующие примеры

Пусть в результате обработки теста получены следующие коэффициенты близости к образам:  $a_1=0.6$ ,  $a_2=0.6$ ,  $a_3=0.3$ ,  $a_4=0.2$ , где  $a_i$  - коэффициент близости к  $i$ -му образу,  $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ .

Вычисляем четыре коэффициента  $h_i$  ( $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) по формуле 3 для отображения на 3-симплексе, причем, нормирование коэффициентов осуществляется по формуле (3), где величина  $h$  - определяющая высоту визуализируемого 3-симплекса, задается пользователем. При  $h = 200$  имеем,

$$\alpha = \frac{h}{\sum_{i=1}^4 a_i} = \frac{200}{0.6+0.6+0.3+0.2} = 117.64, \quad (4)$$

$$h_1 = 70.58, \quad h_2 = 70.58, \quad h_3 = 35.29, \quad h_4 = 23.52, \quad (5)$$

Результат тестирования, представленный зеленым кругом, и элементы обучающей выборки, представленные разноцветными точками, соответствующими цветам образов, изображены в 3-симплексе, представленном на рисунке 3.

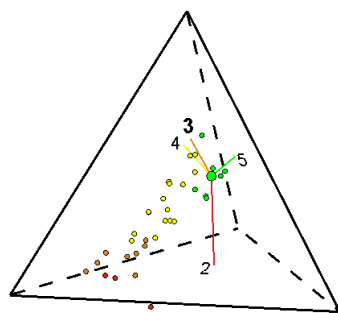


Рисунок 3. Отображение результата тестирования и элементов обучающей выборки в 3-симплексе

На рисунке 4 изображена динамика для трех респондентов. Первый результат (нижняя красная точка) соответствует первому проведению тестирования в начале курса обучения, где все респонденты показали неудовлетворительный результат. Второй результат соответствует проведению тестирования в конце курса обучения, без уведомления респондентов о проведении тестирования. На нем отчетливо отображается дифференциация респондентов по скорости обучения: респонденты а и б продемонстрировали примерно одинаковую скорость обучения, в то время как третий респондент демонстрирует большую скорость обучения (стремление к отличной оценке, способность к обучению). На основе этой информации можно:

1. Прогнозировать дальнейшее повышение уровня знаний респондентов.

2. Разбивать респондентов на различные группы (рис. 5), соответствующие различной степени обучаемости, и предъявлять им задания соответствующей сложности. Такой подход позволит повысить уровень знаний у респондентов

в каждой группе, чем обучение всех респондентов в одной группе. С другой стороны, разбиение респондентов на группы экономичней по стоимостным и временным затратам, чем индивидуальное обучение каждого респондента.

Третий результат соответствует проведению тестирования после уведомления респондентов о проведении тестирования. На рис. 4 видно, что второй и третий респондент получили отличную оценку, но третий респондент показал более твердые знания и более высокий потенциал к развитию, чем второй. С большой достоверностью, этот факт мог быть правильно определен из динамики прохождения двух первых тестирований.

Первый респондент прошел тест только на 4, и ему мало помогла повторная сдача, хотя наблюдается небольшой прогресс по продвижению к более высокой оценке - пятерке. Этот факт также с большой достоверностью, мог быть определен из динамики прохождения предыдущих тестирований.

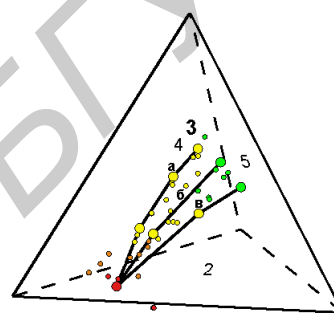


Рисунок 4. Изображение динамики обучения для трех респондентов в 3-симплексе

Существенным преимуществом применения 3-симплекса для обучающе-тестирующих систем является:

1. Большая наглядность отображения динамики результатов обучения и возможность сравнения динамики обучения для разных респондентов

2. Учет весовых коэффициентов для разных категорий вопросов, позволяет достоверно оценивать результаты тестирования.

3. Выявление «анормальных» результатов, то есть результатов со списанными или угаданными вопросами.

4. Выявление и отображение степени обучаемости респондента.

5. Возможность разбиения респондентов на группы по степени обучаемости и его отображение, что наглядно видно на рис. 5, на котором изображен результат разбиения шести респондентов на 2 группы: с хорошей и средней динамикой обучения.

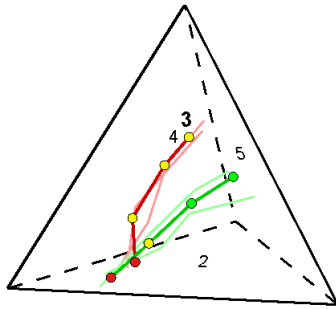


Рисунок 5. Изображение разбиения респондентов по степени их обучаемости на две группы в 3-симплексе

## 5. Программная реализация модуля визуализации 3-симплекса

В данный момент реализованы прототип модуля визуализации 3-симплекса. Для реализации прототипа был выбран язык C#.

На вход модуля визуализации подается текстовая строка, содержащая описание 3-симплекса и представленная либо файлом на жестком диске, либо областью в оперативной памяти. 3-симплекса описывается на прототипе простого декларативного языка, разработанного нами специально для описания  $n$ -симплексов. Данный язык наиболее прост для кодогенерации (для легкого внедрения в программные комплексы) и при этом является достаточно простым и наглядным для понимания и редактирования описания  $n$ -симплекса пользователем.

Результатом работы модуля является изображение, отрендеренное с применением GDI+ на Windows Forms. Для 3-симплекса доступна интерактивная смена ракурса обзора, включая задание углов обзора в строке описания  $n$ -симплекса.

Алгоритм построения изображения 3-симплекса включает в себя следующие шаги:

1. Грамматический разбор описания 3-симплекса.
2. Создание внутреннего списка примитивов.
3. Преобразование коэффициентов  $a_i$  ( $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) в коэффициенты  $h_i$  ( $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) в координаты  $x, y, z$  декартового пространства.
4. Преобразование коэффициентов  $h_i$  ( $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) в координаты  $x, y, z$  декартового пространства.
5. Преобразование смещения и поворота координат в декартовом пространстве координат с применением матриц 3D преобразований.
6. Рендеринг 3-симплекса на Windows Forms.

## Заключение

Описан предлагаемый нами подход для интерпретации и обоснования результатов обучения (тестирования), основанный на применении 3-симплекса. Даны математические основы отображения исследуемого объекта в  $n$ -симплексе. Предложена разработанная нами архитектура обучающе-тестирующей системы. Приведены иллюстрирующие примеры отображения

результатов тестирования, динамики обучения, степени обучаемости респондентов и разбиение их на группы по степени их обучаемости на основе 3-симплексов. Создан алгоритм визуализации изображения 3-симплекса и отображения в нем результатов тестирования, динамики степени обучения. Дано описание программной реализации 3-симплекса с описанием входа и выхода модулей.

Показано существенные преимущества применения 3-симплекса при создании интеллектуальных обучающе-тестирующих систем.

Далее планируется развитие других интерактивных возможностей, облегчающих анализ данных с применением  $n$ -симплекса и переписывании кода на язык C++ в целях увеличения производительности и облегчения встраивания разработанного модуля в другие приложения, в том числе в интеллектуальное-инструментальное средство ИМСЛОГ [Yankovskaya, 2003], предназначенное для выявления различного рода закономерностей в данных и знаниях, принятия и обоснования принятия диагностических, организационно-управленческих и классификационных решений с использованием графических, включая когнитивные, средств.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (проекты № 13-07-00373а "Основанное на конвергенции нескольких наук и научных направлений построение отказоустойчивых диагностических тестов и принятие решений в интеллектуальных системах" и № 13-07-98037р\_сибирь-а "Создание гибридной интеллектуальной обучающе-тестирующей системы, ориентированной на смешанное образование и обучение") и гранта РГНФ (проект № 13-06-00709 "Структуризация данных и знаний, создание интеллектуальной системы биопсихосоциальной экспресс-диагностики и профилактики депрессии у женщин в репродуктивный период").

## Библиографический список

- [Журавлев, 1990] Распознавание образов и анализ изображений / Ю.И. Журавлев, И.Б. Гуревич // Искусственный интеллект в 3-х книгах. Книга 2. Модели и методы: Справочник/ Под ред. Д.А. Поспелова. М: Радио и связь. – 1990. – С. 149-191
- [Зенкин, 1996] Знание - порождающее технологии когнитивной реальности / Зенкин А.А. // Новости искусственного интеллекта. – 1996. -№ 2. – С. 72-78.
- [Кондратенко, 1992] Система визуализации TRIANG для обоснования принятия решений с использованием когнитивной графики / С.В. Кондратенко, А.Е. Янковская // Тезисы докладов III конференции по Искусственному интеллекту. Том, Тверь, 1992, 152-155
- [Кренделев, 1967] Сравнение геологического строения зарубежных месторождений докембрийских конгломератов с помощью дискретной математики / Ф.П. Кренделев, А.Н. Дмитриев, Ю.И. Журавлев // Доклады АН СССР. – Т. 173, №5, 1967, 1149-1152.
- [Поспелов, 1996] Десять "горячих точек" в исследованиях по искусственному интеллекту / Поспелов Д.А. // Интеллектуальные системы (МГУ). - Т.1, вып.1-4., 1996, с.47-56
- [ФЦОЗ, 2013] Федеральный центр образовательного законодательства // [Электр. ресурс]. Режим доступа <http://lexed.ru/faq/index.phtml?cat=38>, свободный, (15.11.2013).

[ФЭПО, 2010] Федеральный экзамен в сфере высшего профессионального образования // [Электр. ресурс]. Режим доступа <http://www.fepo.ru>, свободный, (05.03.2010).

[Янковская, 1991] Преобразование пространства признаков в пространство образов на базе логико-комбинаторных методов и свойств некоторых геометрических фигур / А.Е. Янковская // Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии. Тез. докладов I Всесоюзной конференции. Часть II. – Минск, 1991. – С. 178-181.

[Янковская, 1994] Тестовые распознающие медицинские экспертные системы с элементами когнитивной графики / Янковская А.Е. // Компьютерная хроника. – 1994. – № 8/9. – С. 61-83.

[Янковская, 1996] Графические средства в интеллектуальных обучающих распознающих системах / Янковская А.Е. // Искусственный интеллект в образовании: Труды Междунар. семинара. – Ч. 2. – Казань, 1996. – С. 101-106.

[Янковская, 1997] Принятие и обоснование решений с использованием методов когнитивной графики на основе знаний экспертов различной квалификации / А.Е. Янковская // Известия РАН. Теория и система управления, № 5, 1997, 125-126.

[Янковская, 2000-1] Интеллектуальная подсистема когнитивной графики обоснования принятия решений / А.Е. Янковская, Р.В. Аметов // Информационные системы и технологии (ИСТ-2000). Труды Международной конференции. Том 3. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2000. – С. 542-547.

[Янковская, 2000-2] Графическая визуализация данных, знаний и закономерностей в прикладных интеллектуальных информационных системах / Янковская А.Е., Аметов Р.В., Черногорюк Г.Э. // Искусственный интеллект. Науч.-теорет. журнал. – Донецк. – 2000. – № 2. – С. 279-284.

[Янковская, 2000-3] Отражение образного мышления специалиста в интеллектуальной распознающей системе патогенеза заболевания / Янковская А.Е., Тетенев Ф.Ф., Черногорюк Г.Э. // Компьютерная хроника. – 2000. – №6. – С. 77-92.

[Янковская, 2011-1] Логические тесты и средства когнитивной графики / А.Е. Янковская // (Издательский Дом: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011)

[Янковская, 2011-2] Янковская А.Е. Смешанные диагностические тесты – новая парадигма создания интеллектуальных обучающих и контролируемых систем // Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Новое качество образования в новых условиях". – Томск: ТОИПКРО, 2011. – Т.1. – с. 195-203. (ISBN 978-5-903029-30-3)

[Albu, 1990] COGR – Cognitive Graphics System, Design, Development, Application / V.A.Albu, V.F.Khoroshevskiy // Russian Academy of Science Bulletin. Technical Cybernetics - 1990. - № 5 (in Russian)

[Axelrod, 1976] The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites / R. Axelrod // Princeton University Press, 1976

[Basaker, 1965] Finite Graphs and Networks: An Introduction with Applications / R.G.Basaker, T.L.Saati // Research Analysis Corp., Mc Graw Hill Company, NY-London-Toronto, 1965

[Kobrinskiy, 1995] Analysis and use of associative knowledge in medical expert system / B.A.Kobrinskiy, A.E.Feldman // Artificial Intelligence News - N3, 1995

[Kobrinskiy, 1996] Why should we take in account imaginary thinking and intuition in medical expert systems / B.A.Kobrinskiy // Artificial Intelligence – 96. Proceedings of the 5th National Conference with International Participation. Volume II. – Kazan, 1996 (in Russian)

[Pospelov, 1991] How to combine left and right? / D.A.Pospelov, L.V.Litvintseva // News of Artificial Intelligence, N2, 1996. (in Russian)

[Pospelov, 1992] Cognitive Graphics – a window into the new world / D.A. Pospelov // Software products and systems, 1992, 4-6 (in Russian)

[Yankovskaya, 1996] Yankovskaya A.E. Design of Optimal Mixed Diagnostic Test With Reference to the Problems of Evolutionary Computation// Proceedings of the First International Conference on Evolutionary Computation and Its Applications (EVCA'96). – Moscow, 1996. – pp. 292-297.

[Yankovskaya, 2003] IMSLOG-2002 Software Tool for Supporting Information Technologies of Test Pattern Recognition / Yankovskaya A. E., Gedike A. I., Ametov R. V., Bleikher A. M. // Pattern Recognition and Image Analysis, 2003. Vol. 13. No. 4. – pp. 650-657.

[Yankovskaya, 2004] Optimization of a set of tests selection satisfying the criteria prescribed / A.E. Yankovskaya, V.I. Mozheiko // 7th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-7-2004). Conference Proceedings, Vol. I, St. Petersburg: SPbETU 2004, 145-148

[Yankovskaya, 2009] Cognitive Computer Based on n-m Multiterminal Networks for Pattern Recognition in Applied Intelligent Systems / A. Yankovskaya, D. Galkin // Proceedings of Conference GraphiCon'2009. – M.: МАКС Пресс, 2009. – pp. 299-300.

[Yankovskaya, 2010] Computer Visualization and Cognitive Graphics Tools for Applied Intelligent Systems / A. E. Yankovskaya, D. V. Galkin, G. E. Chernogoryuk // Proceedings of the IASTED International Conferences on Automation, Control and Information Technology, v.1. – 2010. – pp. 249-253.

[Yankovskaya, 2013-1] Cognitive Tool for the Representation of Test Results of the Blended Education / Yankovskaya A., Semenov M., Semenov D. // Interactive System: Problem of Human-Computer Interaction. - Collection of scientific papers. - Ulyanovsk: USTU, 2013. pp. 305-312.

[Yankovskaya, 2013-2] Cognitive Graphics Tool Based on 3-Simplex for Decision-Making and Substantiation of Decisions in Intelligent System / Yankovskaya A., Krivdyuk N. // Proceedings of the IA STED International Conference Technology for Education and Learning (TEL 2013) November 11 - 13, 2013 Marina del Rey, USA - pp. 463-469.

[Zenkin, 1991] Cognitive Computer Graphics / A.A.Zenkin // M.: Nauka, 1991 (in Russian)

## APPLICATION OF COGNITIVE GRAPHICS TOOLS BASED ON THE 3-SIMPLEX IN INTELLIGENT TRAINING-TESTING SYSTEMS

Yankovskaya A.E. \*, Yamshanov A.V. \*\*, Krivdyuk N.M. \*\*

\* Tomsk State University of Architecture and Building  
National Research Tomsk State University  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics  
Tomsk, Russia  
ayyankov@gmail.com

\*\* Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics  
Tomsk, Russia  
yav@keva.tusur.ru  
knm@kcup.tusur.ru

The new approach to the quality estimation of respondents education, the mathematical foundations of the object under investigation displaying into 3-simplex, the architecture of training-testing system are proposed. Displaying of testing results and the dynamics of learning with using 3-simplex are considered. Illustrative examples are given. The partitioning of the respondents into groups according to learning speed is proposed. The software realization of the visualization module of 3-simplex is described. The advantages of using 3-simplex in creating intelligent training-testing systems are described. The prospects for further development of the visualization module are given.