

## **Раздел II. Искусственный интеллект и нечеткие системы**

УДК 004.8

**В.В. Бова, А.А. Новиков**

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ В ПРЕДСТАВЛЕНИИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕДМЕТНЫХ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ**

*Работа посвящена рассмотрению проблем представления предметных знаний в адаптивных обучающих системах и процедур их построения на основе семантической модели управления обучением. Предлагается способ организации модели представления предметных знаний на основе метода иерархий. Приводятся возможные пути создания и применения в образовании информационных обучающих систем, рассматривающих в качестве инструмента познания технологии управления знаниями.*

*Адаптивная обучающая система, модель предметных знаний, технологии управления знаниями, модель обучаемого, адаптивное обучение.*

**V.V. Bova, A.A. Novikov**

### **APPLICATION OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS IN THE REPRESENTATION OF THE SEMANTIC MODEL OF SUBJECT KNOWLEDGE TRAINING SYSTEMS**

The work deals with the problem of the representation of subject knowledge in adaptive learning systems and procedures of construction based on a semantic model of management education. Provides a method of organizing the view model of subject knowledge on the basis of hierarchies. The possible ways of development and use of information in education training systems, seen as a tool of learning management technology knowledge.

Adaptive learning system, model of subject knowledge, technologies of knowledge management, student model, adaptive learning.

**Введение.** В настоящее время формируется новый принцип построения обучающих систем: процесс обучения в них рассматривается как процесс управления знаниями обучаемого. В рамках этого подхода ведутся работы по разработке адаптивных систем обучения. Обучение в программной среде является активным процессом, направленным на извлечение, конструирование знания, а не просто на его воспроизведение [1].

Основными проблемами при реализации адаптивного обучения в обучающих системах являются выбор характеристик обучаемого, отражающих изменение процесса обучения модели обучаемого и технологии адаптации, определяющую приемы реализации адаптации. Основываясь на том факте, что основным показателем качества обучения является уровень знаний обучаемого, следует использовать та-

кую технологию адаптации, которая непосредственно использует данный показатель в качестве объекта адаптации [2].

Применение любой инновационной технологии может внести положительные изменения в систему обучения, если будут решены следующие задачи:

- разработана концептуальная модель обучения в компьютерной среде на основе осмысления, модернизации дидактических понятий и принципов традиционной модели обучения;
- выбраны и обоснованы новые инновационные технологии, поддерживающие качественное обучение в компьютерной среде;
- разработана формализованная модель обучения на основе семантического описания предметных знаний.

В области информационных адаптивных систем одной из основных задач является формализация и представление знаний о предметной области и процессах, протекающих в ней. Для этого система должна: иметь более сложную структуру (как минимум, она должна содержать подсистему моделирования для создания формальных моделей предметной области; базу знаний предметной области для формирования гипотез, используемых при решении задач моделирования и поиска решений) [3].

В адаптивных обучающих системах (АОС) модель предметных знаний приобретает особую роль, т.к. качество обучения практически определяется алгоритмом управления процессом обучения, который базируется на модели предметной области (ПрО). Предметная модель отражает взаимосвязи понятий (тем) предметной области и используется для определения последовательности изучения и получения целостного образа знаний.

В работе обосновывается необходимость повышения адаптивности образовательного процесса и выбор рационального способа представления предметных знаний в виде семантической модели на основе метода анализа иерархий.

**Моделирование знаний предметной области АОС.** Современной тенденцией в создании АОС является реализация в них парадигмы обработки знаний. В АОС знания представляют в виде моделей [4]:

- продукционных;
- фреймов;
- формально-логических;
- онтологий, включая семантические сети.

Модель ПрО предназначена для решения двух взаимосвязанных задач. Эта модель отражает связи между элементами учебного процесса и, следовательно, определяет последовательность изучения материала, а также возможные причины ошибок обучаемого, возникших из-за незнания предшествующего материала (задача консультации и адаптивного управления).

Модель ПрО можно использовать как для управления процессом обучения, так и для обоснованного решения вопроса о включении тех или иных фрагментов знаний в программу учебного курса.

Курсом будем называть совокупность предметных знаний, внесенных в АОС на этапе заполнения и предназначенных для обучения по определенному предмету (специальности).

В большинстве существующих обучающих систем учебный материал (УМ) имеет линейную структуру, соответствующую последовательности изложения материала. Такой подход не может считаться оптимальным, т.к. в общем случае УМ может не иметь заранее определенного наилучшего пути следования, поэтому,

подчиняя процесс обучения некоторой однонаправленной форме, мы можем получить неверное представление об истинности явлений или фактов в управлении знаниями.

Рассмотрим возможные варианты организации модели ПрО в АОС. Для этого сначала определим требования, которым она должна удовлетворять:

- возможность отражать различные типы связей между элементами;
- возможность получения целостного образа знаний;
- возможность объединения процедурных и декларативных знаний.

Этим требованиям удовлетворяют фреймовая и семантическая модели представления знаний [4]. В данных моделях элементы знаний связаны между собой множеством отношений разных типов, из которых основными являются отношения «абстрактное-конкретное», «целое-часть». Первое из указанных отношений порождает иерархию знаний по уровню их общности, так что на верхних уровнях иерархии находятся элементы знаний, имеющие максимальную степень общности. Говоря более строго, эту иерархию знаний порождают два отношения – отношение «снизу-вверх» (is-a) и отношение «сверху-вниз» (a kind-of).

На рис. 1 приведена типовая структура ПрО, где УМ представлен вершинами графа, а отношения – ребрами. Выделены отношения трех типов:

- иерархические (предок-потомок, часть-целое и т.д.);
- просмотровые последовательности (вперед-назад);
- семантические (ассоциативные).



Рис. 1. Типовая структура объектов модели ПрО

В соответствии с иерархическими отношениями структурным компонентам приписываются индексы, каждый из которых отражает путь к соответствующей вершине от корневой (УМ в целом). В приведенной реализации типовой структуры ПрО выделено пять уровней, считая корневую вершину УМ. В конкретных реализациях АОС количество и наименование уровней могут быть различными.

Индексы используются для идентификации и адресации структурных компонентов. Структурные компоненты, не имеющие подчиненных (листья на дереве), обычно называются кадрами, страницами, экранами (неделимыми элементами знаний – квантами учебной информации).

На множестве соподчиненных вершин одного иерархического уровня, то есть имеющих на предыдущем уровне общую подчиняющую вершину (предок), определяются отношения, служащие для описания порядка предъявления обучаемому соответствующих структурных компонентов. Часто эти отношения называют просмотрными последовательностями.

Семантические отношения связывают структурные компоненты АОС, содержание которых обладает смысловой корреляцией. Эти отношения называют гиперссылками или гиперсвязями. Как правило, эти отношения двунаправлены.

Таким образом, в структуре АОС можно выделить: древовидную структуру, образуемую иерархическими отношениями; сетевую структуру, образуемую гиперсвязями; и структуру, образуемую просмотрными последовательностями (в одних случаях это линейная последовательность связей между вершинами, в других – сложная разветвленная структура).

Отношение «целое-часть» также порождает иерархию знаний, но упорядоченных по уровню вложенности. Отношение также является двухсторонним и состоит из отношений «имеет-часть», «одна-из-частей». Данный способ формализованного описания предметных знаний позволяет, в отличие от других способов [5], учесть качественные характеристики учебного материала, благодаря чему создается целостное представление о составе и структуре предметных знаний (рис. 2).

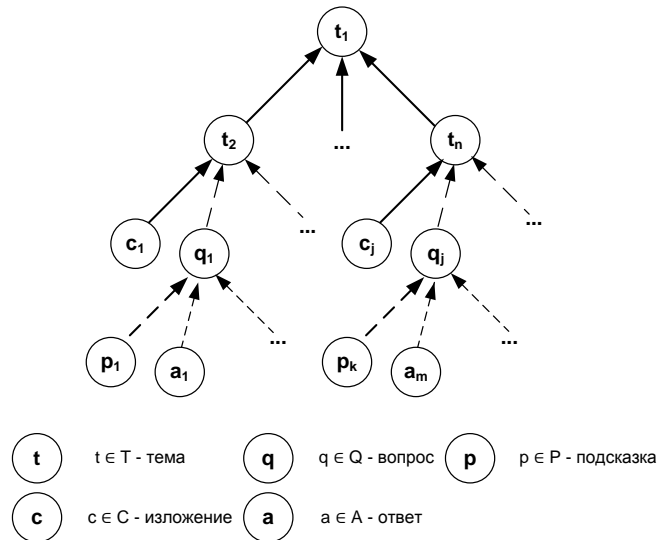


Рис. 2. Модель представления предметных знаний, отражающая отношения «целое - часть»

Преставление этой модели в виде семантической сети позволяет проводить анализ ПрО по таким параметрам, как [6]:

- связность (достижимость любой вершины);
- наличие циклов;

- степень важности определенной темы (понятия), определяемая количеством тем, зависящих от данной темы [7].

Семантическая сеть в работах [5, 6], затрагивающих вопрос организации модели ПрО, рассматривается в классическом понимании, т.е. как направленный граф с помеченными вершинами и дугами, в котором вершинам соответствуют объекты, а дугам – семантические отношения между ними. В некоторых работах [8, 9] для этой модели предлагаются наборы семантических взаимоотношений. Например, в работе [10] выделяются связи типа «является частью», «следует из» и другие.

Предлагаемая авторами модель ПрО (рис. 3), построена на основе семантической сети, в которой узлы являются концептами предметных знаний, а дуги определяют последовательность обучения.

Для обеспечения информационной поддержки, семантическая сеть ПрО дополнена узлами, представляющими собой концепты дисциплин, знание которых необходимо для изучения курса (уровень поддержки). Для определения начальных знаний, наблюдения за процессом обучения и вывода текущего уровня знаний учащегося сеть дополнена уровнем тестирования. Для внешнего представления структуры ПрО в виде дерева сеть дополнена узлами, объединяющими концепты основного уровня в разделы, а разделы в электронный курс. Между узлами определены четыре типа связей: зависимости, объединения, включения, принадлежности.

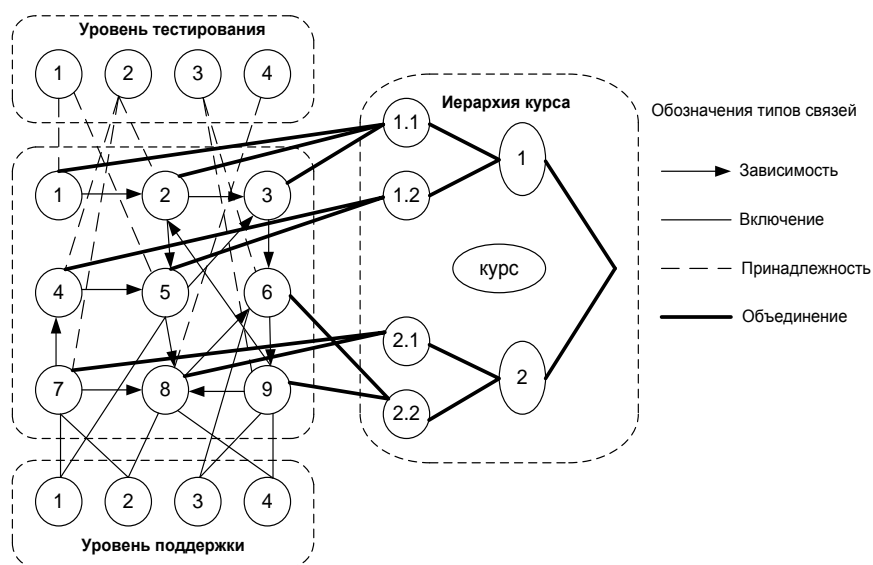


Рис. 3. Представление модели предметной области

Таким образом, представленная в данной статье модель отражает семантику ПрО и используется для определения оптимальной последовательности обучения и получения целостного образа знаний, относящихся к данному курсу.

**Структура семантической модели предметных знаний.** Для поддержки эффективности обучения в АОС необходимы знания о предмете обучения, о стратегиях и методах обучения, знания об обучаемом, которые выделяются эксплицитно и реализуются с помощью разных методов и технологий адаптации [11].

Построение последовательности курса обучения означает обеспечение обучае-мого индивидуально спланированной последовательностью учебных заданий. Модель предметных знаний строится на основе гибридной технологии построения обучения, т.е. сочетает активное (с наличием персональных целей обучения) и пас-сивное (корректирующее) построение последовательности курсов, формирующее обучение на основе доступного обучаемому материала. В модели реализованы два уровня последовательности курса: последовательность низкого уровня (последова-тельность заданий) определяет следующее учебное задание внутри текущей подце-ли; последовательность высокого уровня (последовательность знаний) определяет следующую подцель для изучения (понятие, набор понятий или тему).

**Описание модели.** При построении семантической модели используются следующие принципы структурирования ПрО.

1. Разбиение контента на множество структурных элементов  $E = \{e_1, \dots, e_n\}$ .
2. Типизация структурных элементов  $G : E \rightarrow T$ , где  $T = S \cup C \cup L$  – множество типов.  $S$  – множество типов семантических элементов, соответствующих дидактическим единицам контента, например «лекция», «определение», «теорема», «термин»;  $C$  – множество типов мультимедиа элементов, например «текст», «графика», «анимация», «видео»;  $L$  – множество типов элементов семантических связей: зависимостей, принадлежностей, включений, объединений, используемых для установления логических зависимостей, например «следует из», «определяется», «иллюстрирует».
3. Иерархическое упорядочение предметных знаний, отражающее отношение «целое-часть» между структурными элементами. Иерархия определяется отображением  $F : E \rightarrow 2^E$ , ставящим в соответствие каждому структурному элементу  $e_i$  множество его дочерних элементов (рис. 4).
4. Задание семантических связей, отражающих логические зависимости между структурными элементами. Семантические связи определяются отображением  $H : \{e : G(e) \in L\} \rightarrow \{e : G(e) \in S\}$ .

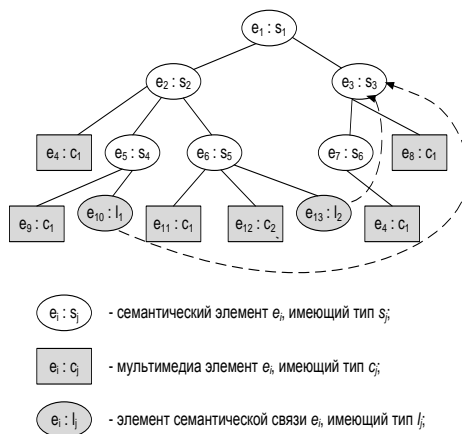


Рис. 4. Пример структуры ПрО

**Формализация структуры модели.** При создании семантической модели предметных знаний необходимо накладывать определенные ограничения на типы используемых элементов и возможные связи между ними. Для контроля коррект-

ности структуры ПрО необходим механизм формальной спецификации таких ограничений. Используемый метод иерархий [7, 8] позволяет задавать ограничения трех видов.

1. Определение множества типов структурных элементов:

- $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{n1}\}$  – множество используемых типов семантических элементов;
- $L = \{l_1, l_2, \dots, l_{n2}\}$  – множество используемых типов элементов семантической связи;
- $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{n3}\}$  – множество используемых типов мультимедиа элементов.

2. Спецификация иерархической структуры предметных знаний (рис. 2), определяющая типы дочерних элементов для  $s$ :

- $t \in T$  – тема;
- $c \in C$  – изложение;
- $q \in Q$  – вопрос;
- $a \in A$  – ответ;
- $p \in P$  – подсказка.

3. Спецификация семантических связей определяет для каждого типа связи множество подтипов, на которое можно ссылаться:  $l_i \rightarrow \{s_{j1}, \dots, s_{jk}\}$ .

Основными требованиями к представлению модели являются адекватное отражение семантики дидактических материалов и предоставление широких возможностей по обработке предметных знаний. Предлагаемые характеристики нацелены на оценку соответствия структуры ПрО данным требованиям. Исходя из используемых в модели механизмов структурирования, выделяются три группы характеристик: типизация, семантической связи, иерархической структуры.

Следующие характеристики типизации позволяют оценить распределение структурных элементов по типам и классам (рис. 2, 4):

- количество элементов типа  $t$ ;
- количество семантических элементов;
- количество мультимедиа элементов;
- количество элементов семантической связи.

**Характеристики семантической связи.** Для исследования структуры семантических связей определим отношение *ссылается* на множестве семантических элементов. Если семантический элемент  $s$  содержит дочерний элемент семантической связи, ссылающихся на  $s'$ , то будем считать, что имеет место непосредственная ссылка. Однако иногда важно рассматривать и опосредованные ссылки, при этом предлагается учитывать ссылки через третьи элементы и ссылки через родительские элементы.

Следовательно, для каждого семантического элемента  $s$  можно определить следующие характеристики семантической связи:

- $|\{e : s \rightarrow e\}|$  – количество семантических элементов, на которые непосредственно ссылается  $s$ ;
- $|\{e : e \rightarrow s\}|$  – количество семантических элементов, непосредственно ссылающихся на  $s$ .

Пример структуры ПрО и задаваемое ей отношение *ссылается* приведены на рис. 5, пунктирными линиями выделены непосредственные ссылки.

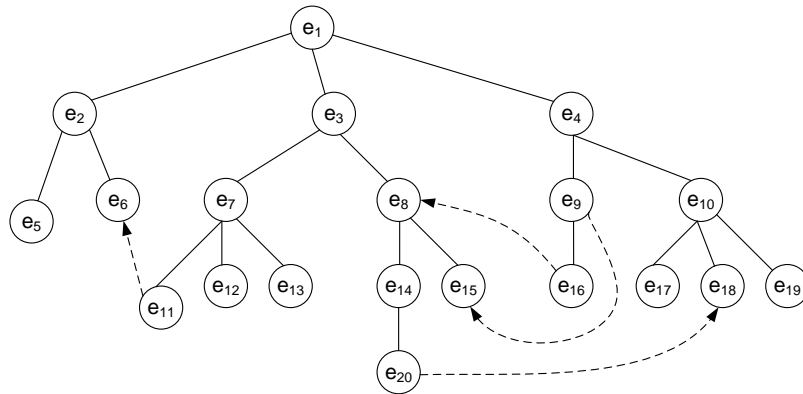


Рис. 5. Структура ПрО и задаваемое ей отношение ссылается

Однако отношение *ссылается* не охватывает все виды семантических зависимостей между элементами, в частности, не учитываются связи через дочерние элементы (рис. 6). Например, если параграф одной лекции ссылается на параграф другой, естественно считать такие лекции в некотором роде связанными. Для анализа подобных зависимостей введем отношение *семантически связаны*. Будем считать элементы семантически связанными, если выполнено одно из следующих условий: элементы совпадают; элементы или их потомки связаны отношением *ссылается*; элементы связаны рекурсивно. Так как каждый элемент оказывается семантически связанным со своими потомками, предлагается рассматривать данное отношение на множествах, не содержащих таких пар элементов.

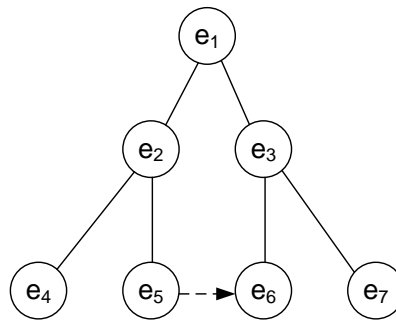


Рис. 6. Структурные элементы  $e_2, e_3$ , связанные через дочерние элементы

**Характеристики иерархической структуры.** Для оценки иерархической структуры контента необходимо рассмотреть ее влияние на возможности обработки данных и, в первую очередь, на поиск информации. Для этого предлагается оценить как много различных подмножеств можно выделить из множества структурных элементов с помощью операций, результат выполнения которых непосредственно определяется иерархической структурой.

Для реализации метода ставится задача построения оптимальной последовательности изучения УМ. В компьютерных системах обучения УМ или объект изу-



чения представляется в виде трех- или четырехуровневой иерархии: курс (учебный предмет), тема, раздел темы, квант учебной информации (УИ), причем, уровень разделов для небольших и несложных тем может быть опущен. Квант УИ – это элементарная порция информации: текст для изучения некоторого понятия темы (квант-понятие), вопрос, задача, комментарий на ответ, разъяснительный текст и т.п.

В настоящее время при объектно-ориентированном подходе к разработке компьютерных систем обучения широко используется термин «объект изучения» (learning object), но однозначного определения этого термина пока не существует [5, 11, 12]. Некоторые авторы под объектом изучения (ОИ) понимают кванты УМ, другие рассматривают ОИ на двух уровнях: макроуровне (уровень тем) и микроуровне (уровень квантов УИ) [6], хотя учебный курс также можно считать объектом изучения.

**Заключение.** Проблема представления знаний для АОС чрезвычайно актуальна и обусловлена необходимостью создания особого подхода формализации данных и знаний.

На основе анализа научно-методических источников [1–4, 13–15] выявлены современные методы построения компьютерных обучающих систем в целом и методы управления их работой, определены требования к системам управления адаптивными обучающими системами со стороны предметной области. Рассмотренные в статье модели представления знаний для АОС, обуславливают необходимость создания особого подхода формализации данных и знаний с возможностью динамической адаптации модели предметной области, а также самообучения и изменения границ компетентности с целью автоматизации процессов моделирования и автоформализации знаний о предметной области.

Проведен анализ различных способов представления знаний [2, 8, 10-13] и на основе его результатов предложен метод организации модели предметной области, соответствующей семантическому содержанию знаний обучаемого.

В статье доказано, что дальнейшее развитие систем обучения будет идти по пути создания универсальных АОС, обладающих способностью перепрограммироваться на обучение в конкретной предметной области. Этого можно достичь синтезом интеллектуальных компьютерных обучающих систем с заложенными в них механизмами генерации стратегий обучения на основе построения модели предметных знаний.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Норенков И.П., Зимин А.М.* Информационные технологии в образовании. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. *Кравченко Ю.А.* Концептуальные основы рефлексивно-адаптивного подхода к построению интеллектуальных информационных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 167-171.
3. *Бова В.В.* Моделирование области знаний в системах поддержки принятия решений для непрерывного профессионального обучения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4 (93). – С. 242-249.
4. *Башмаков А.И., Башмаков И.А.* Интеллектуальные информационные технологии: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с.
5. *Рыбина Г.В., Рыбин В.М.* Опыт разработки и перспективы использования обучающих интегрируемых экспертных систем в учебном процессе // Интеллектуальные системы и технологии. – М.: МИФИ, 2007. – С. 37-39.

6. *Бова В.В.* Применение семантических моделей для представления знаний в адаптивных системах обучения // IS&IT'11. – М.: Физматлит, 2011. – Т.2. – С. 278-286.
7. *Середенко Н.Н.* Развитие метода анализа иерархий // Открытое образование. Научно-практический журнал. – М.: CAPITALPRESS, 2011 – № 2 (85). – С. 39-48.
8. *Кравченко Ю.А., Марков В.В.* Принятие решений в интегрированных информационных моделях на основе метода анализа иерархий // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 212-216.
9. *Родзин С.И.* Вычислительный интеллект: немонотонные логики и графическое представление знаний // Программные продукты и системы. – 2002. – № 1. – С. 20-22.
10. *Саати Т.Л.* Принятие решений при зависимостях и обратных связях // Аналитические сети. – М.: ЛКИ, 2008.
11. *Бова В.В.* Методы поддержки принятия решений в построении адаптивных моделей образовательных процессов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 4 (80). – С. 221-225.
12. *Марков В.В.* Методика извлечения и оценки знаний на основе нечеткой модели эксперта // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 137-141.
13. *Кравченко Ю.А.* Метод создания математических моделей принятия решений в многоагентных подсистемах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 7 (120). – С. 141-145.
14. *Бова В.В., Курейчик В.В., Нужнов Е.В.* Проблемы представления знаний в интегрированных системах поддержки управления решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 107-113.
15. *Курейчик В.В., Бова В.В., Нужнов Е.В., Родзин С.И.* Интегрированная инструментальная среда поддержки инновационных образовательных процессов. // Открытое образование. – 2010. – № 4. – С. 101-111.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин.

**Бова Виктория Викторовна**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет».

Факультет «Автоматики и вычислительной техники».

E-mail: vvbova@yandex.ru

347928, г. Таганрог, Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634) 37-16-51.

Кафедра систем автоматизированного проектирования; старший преподаватель.

**Bova Victoria Victorovna**

Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

The College of Automation and Computer Engineering.

E-mail: vvbova@yandex.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634) 37-16-51.

The Department of Computer Aided Design; Senior Teacher.

**Новиков Антон Александрович**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет».

Факультет «Автоматики и вычислительной техники».

E-mail: anton.a.novikov@gmail.com.

347928, г. Таганрог, Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634) 37-16-51.

Кафедра систем автоматизированного проектирования; студент.

**Novikov Anton Alexandrovich**

Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

The College of Automation and Computer Engineering

E-mail: anton.a.novikov@gmail.com

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634) 37-16-51.

The Department of Computer Aided Design; student.