

УДК 37.012+519.172.1

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

СВИРИДОВ Владимир Владимирович,

доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики,
Воронежский государственный педагогический университет

КОЧУКОВА Марина Викторовна,

ассистент кафедры нормальной физиологии,
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко

АННОТАЦИЯ. Рассмотрена возникающая в ходе сопровождения образовательного процесса задача структурирования предметной области с акцентом на ее системных свойствах. Предложен общий принцип, позволяющий улучшить традиционный способ чисто иерархического представления структуры предметной области, сохраняя его при этом в качестве первого приближения. Разработана методика анализа и переопределения положения дидактических единиц в иерархии структуры знаний при наложении на нее дополнительных системных связей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: предметная область, системный подход, дидактическая единица, граф.

SVIRIDOV V.V.,

Dr. Phys. Math. Sci., Professor of the Department of General Physics,
Voronezh State Pedagogical University

KOCHUKOVA M.V.,

Lecturer of the Department of Normal Physiology,
Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko

STRUCTURING A KNOWLEDGE DOMAIN BASED ON THE SYSTEMIC APPROACH

ABSTRACT. A problem of structuring a knowledge domain to emphasize its system features is considered. The problem arises in the course of maintenance of the educational process. A general principle is proposed to improve the conventional way of pure hierarchical representation of knowledge domain structure while keeping it as a first approximation. A technique is developed to analyze and redefine positions of didactical units in the hierarchy of the knowledge structure when extra systemic relations are superimposed on the structure.

KEY WORDS: knowledge domain, systemic approach, didactical unit, graph.

Необходимым элементом дифференцированного подхода в обучении, декларируемого в рамках единого образовательного пространства и позволяющего варьировать направленность и степень сложности обучения, служит структурирование системы знаний и требований к уровню их освоения или уровню владения компетенциями, реализуемыми в ходе обучения. Задача структурирования предметной области возникает также при разработке образовательных программ и рабочих программ учебных дисциплин, при отборе компетенций для организации обучения в целом и для реализации на отдельном занятии, при отборе материала для объективного контроля знаний и при решении ряда других теоретических и практических задач.

Традиционно структурирование предметной области выполняется путем разбиения материала на составляющие, связанные друг с другом иерархически (разделы, главы, параграфы и т.д.), то есть, выражаясь более формально, посредством отображения материала на граф типа «дерево» [1]. При этом понятия, используемые в предметной области, отождествляются с вершинами графа, а связи меж-

ду ними (законы, правила, определения, отношения хронологии, логического следования, наследования, гомологии, аналогии и т.п.) – с ребрами графа (рис. 1). Вершины и ребра такого графа очевидно неравноправны: среди них наиболее важны узловые, удаление которых приводит к утрате графом связности или резкому ее понижению.

Помимо простоты структуры, представление системы знаний в виде графа-дерева отвечает известным из литературы рекомендациям по процедуре декомпозиции предметной области путем дробления ее на все более мелкие разделы [2].

При этом получающийся граф-дерево оказывается состоящим только из *вертикальных* ребер (связей), в том смысле, что все его ребра отражают лишь один из типов отношений между элементами системы знаний – отношения соподчиненности. Будучи доведенной до логического завершения, эта процедура расчленяет предметную область на некоторые элементарные дидактические единицы (ЭДЕ) и определяет характер *локальных* связей между ЭДЕ и дидактическими единицами более высокого уровня.

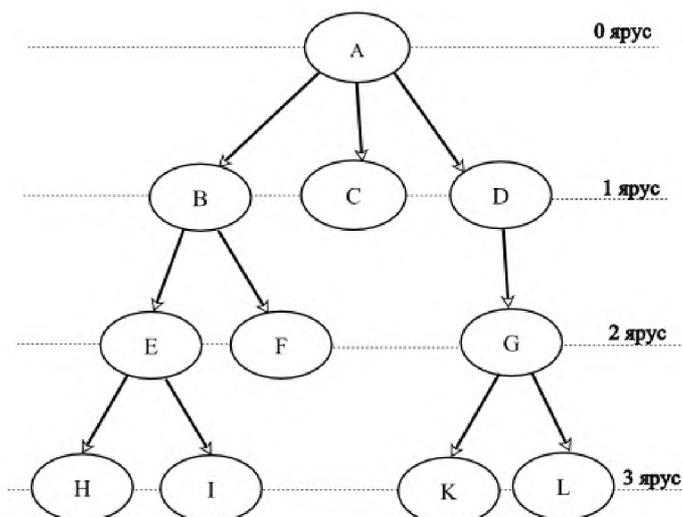


Рис. 1 – Представление структуры знаний графом типа «дерево». Вершины обозначают понятия, ребра – отношения между понятиями (связи)

Существуют, однако, *глобальные* связи и ассоциации (например, универсальные законы, трансдисциплинарные понятия и концепции), которые в основном обеспечивают целостность знаний, относящихся к данной предметной области, и плохо укладываются в иерархическую структуру дерева, ввиду ее низкой связности. В по-настоящему богатой системе должны существовать не только отношения соподчиненности, но и другие ассоциации, напрямую связывающие между собой элементы, разделенные достаточно большим расстоянием по дереву¹.

Диагностика знаний учащихся, опирающаяся на иерархическое представление структуры предметной области, также сталкивается с принципиальными проблемами, приводящими порой к несоответствию результатов проверки текущих и остаточных знаний. Предположим, например, что у учащегося полностью отсутствуют знания, относящиеся к одной ветке дерева, представляющего структуру предметной области. Тогда он не справится с заданиями, проверяющими знания именно этой ветки. Если ее удельный вес относительно всего дерева невелик, общий оценочный балл может получиться достаточно высоким. Однако, учитывая ассоциативную природу мышления и памяти человека, можно ли сказать, что такой учащийся в целом неплохо знает всю предметную область? Количественно запас его знаний будет весом, но качественно он будет демонстрировать серьезные изъяны. Соответственно, дифференциация учащихся на материале, орга-

низованном таким образом, может оказаться внешней, формальной, не отражающей категорию понимания предметной области в целом.

Как известно, ключевыми отличиями системы от совокупности ее элементов служат ее интегративные (системообразующие) качества, порождаемые взаимодействием элементов системы между собой [1]. В роли такого интегративного свойства системы знаний можно рассматривать компетентность ее носителя, понимаемую как способность ориентироваться в системе, видеть взаимосвязи и ассоциации, владение навыками быстрой навигации между ее элементами. Однако именно эти способности и навыки в первую очередь выпадают из поля зрения при использовании строго иерархической модели организации знаний. В результате проверяются отдельные компоненты обученности, но не компетентность ученика в предметной области, взятой в целом.

Таким образом, при всем удобстве, наглядности и легкости технической реализации строго иерархического структурирования предметной области, оно сталкивается с проблемами, суть которых состоит в несоответствии древовидного описания реальной структуре системы знаний.

Очевидно, для приведения древовидного представления знаний к форме, более соответствующей ассоциативной природе мышления и задаче выявления системной, компетентностной составляющей владения предметной областью, следовало бы добавить к вертикальным связям исходного дерева дополнительные связи, «сшивающие» между собой разные ветви дерева и тем самым способствующие формированию более жесткой и определенной структуры – подобно тому, как «сшивка» молекул каучука сульфидными мостиками при его вулканизации превращает липкий, текучий и непрочный каучук в устойчивую, прочную и обладающую определенной формой резину, которая при этом наследует от каучука его эластичность.

Дополнительные связи, накладываемые на строго иерархическую древовидную структуру, для

¹ Под расстоянием между вершинами иерархической древовидной структуры мы, в соответствии с теорией графов [3], будем понимать длину кратчайшего соединяющего их пути, выражаемую в количестве ребер графа, из которых состоит этот путь. Например, на рис. 1 расстояние между вершинами А и В равно 1, а между вершинами G и H – 5. Понятно, что такая структура в принципе не способна адекватно отразить реально существующую прямую связь между G и H.

удобства описания можно разделить на *горизонтальные* и *наклонные*. К горизонтальным мы отнесем те связи, которые соединяют вершины разных ветвей, но одного яруса иерархии (например, E и G на рис. 1); к наклонным – связи между вершинами, относящимися как к разным ветвям дерева, так и к разным его ярусам (H и G на том же рисунке).

Горизонтальные и наклонные связи отражают неформальные соотношения между элементами системы знаний, не укладывающиеся в строго иерархическую структуру, и должны добавляться экспертом, компетентным в данной предметной области. Они особенно важны для формирования не столько модели знания (т.е. узнавания и воспроизведения как начальных этапов в методике оценки результатов обучения у В.П. Беспалько, Б. Блума, В.П. Симонова [4; 5; 6]), сколько высших уровней в модели оценки результатов обучения – понимания, умения применять знания, анализировать и прогнозировать. Поэтому внедрение в традиционное «дерево» горизонтальных и наклонных связей, основанное на соображениях содержательного характера, на наш взгляд, служит оптимальным компромиссом между простотой построения и анализа графа-дерева и реалистичностью и системностью более сложных вариантов отображения структуры рассматриваемой дисциплины.

Добавление связей, отсутствовавших в исходном графе-дереве, возможно, однако, заметно изменить всю структуру представления предметной области и оценку значимости входящих в нее понятий и связей. Далее мы предлагаем формализованный алгоритм, позволяющий учесть и отразить последствия этого эффекта.

При составлении графа предметной области необходимо придерживаться определенных методических принципов, отражающих как формальные свойства «дерева знаний» предметной области, так и эффективные приемы конструирования графа. Ранее мы пытались выработать общие рекомендации по решению данной проблемы [7; 8], здесь же предлагаем конкретный и достаточно жесткий алгоритм действий.

1. Граф (особенно граф-дерево) легче строить «от вершин», а не «от ребер». Однако в начале процесса построения бывает не просто уяснить, должны ли быть связаны данные вершины между собой связями вертикальными или горизонтальными. Поэтому предпочтительнее вначале ранжировать вершины (ЭДЕ) по некоторым иерархическим уровням данной предметной области, а далее, уже имея такой эскиз соподчиненной структуры, прорабатывать связи между ее вершинами.

2. На верхнем уровне иерархии должно находиться одно, максимум два понятия; другими словами, граф должен иметь центр – одну или две выделенные вершины.

3. Более значимые понятия соответствуют вершинам с большим весом и занимают более высокий (ярус) уровень иерархии.

4. Для удобства построения графа и отслеживания изменений, происходящих в нем на всех этапах, вершины желательно обозначать с помощью уникального идентификатора («позывного»), не

привязанного к расположению в графе, – например, по опорному слову.

5. Поскольку в качестве начальной аппроксимации структуры реальной предметной области мы принимаем структуру дерева, где существуют только вертикальные связи (соединяющие вершины только смежных уровней), то проработку связей между ЭДЕ следует начинать с выстраивания связей вертикальных.

6. Если возникает ситуация, когда, по содержательным соображениям, от данной вершины необходимо провести несколько связей к вершинам вышележащего уровня, то лишь одна из них, самая существенная, может быть вертикальной. Остальные же должны рассматриваться как отклонение от структуры идеального дерева – наклонные связи.

7. Помимо вертикальных и наклонных связей, содержательные соображения, как правило, вынуждают вводить в структуру графа еще более серьезные отклонения от идеального дерева – горизонтальные связи между вершинами (ЭДЕ) одного и того же иерархического уровня.

Построение такой модели структуры знаний служит эффективным инструментом для проверки правильности априорного места каждой ЭДЕ в иерархии. Например, если оказывается, что вершина дерева с высоким весом занимает низший уровень по горизонтальным связям, то это сигнализирует о неверном выделении или ранжировании горизонтальных связей.

8. С учетом наклонных и горизонтальных связей, наложенных на структуру исходного дерева, может оказаться необходимым изменить распределение вершин по уровням иерархии. Такое изменение легко внести с помощью простого формального алгоритма. Он состоит в том, что для каждой вершины графа рассчитывается расстояние от нее до центра графа и принимается в качестве уточненного номера иерархического уровня, к которому принадлежит данная вершина. В соответствии с результатами расчета по этому алгоритму, граф следует перестроить с перемещением вершин на уточненные уровни иерархии.

Вышеописанная процедура оставляет некоторый произвол в определении того, какие из связей перестроенного графа следует считать вертикальными, а какие – наклонными. Например, если на рис. 2 мы поменяем местами вершины U и V, то связи SU и TV из вертикальных превратятся в наклонные, а связи SV и TU – наоборот. Эту дилемму можно решить путем содержательного анализа сравнительной значимости указанных четырех связей. Если эксперт решит, что связи SU и TV существеннее в данной предметной области, чем SV и TU, мы оставим вершины U и V на месте; в противном случае производим их рокировку. Заметим, что если вершины U и V относятся к самому нижнему уровню иерархии, то вопрос о характере их связей с вершинами верхнего слоя не очень важен. Значимость данный вопрос приобретает лишь в случае, если ниже U и V находятся достаточно разветвленные «кусты», для которых важно определить, тяготеет ли каждый из них в целом к вершине S или к вершине T.

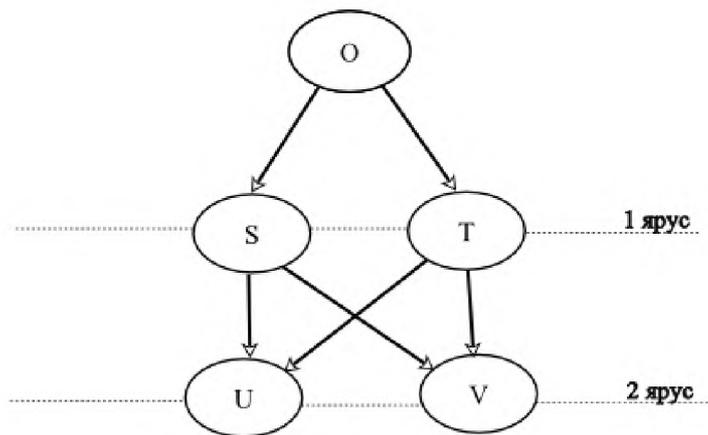


Рис. 2 – Иллюстрация к дилемме выбора типа связей в графе

Задача разделения исходно равнозначных связей на более значимые вертикальные связи, отвечающие за иерархию, и менее значимые наклонные перекликается с задачами теории нечетких множеств, когда не существует однозначного ответа, принадлежит ли данный элемент к одному множеству или к другому. Подобного рода нечеткость, как указывает А.П. Рыжов [9], всегда возникает в гуманитарных науках при привлечении информационных технологий, но при этом она все же позволяет формализовать содержательно значимые понятия.

Для примера рассмотрим граф, представляющий систему знаний некоторой гипотетической дисциплины.

Обозначим его вершины простейшими позывными – латинскими буквами, так как содержание отвечающих им понятий (ЭДЕ) здесь для нас несущественно. Характер связей, соединяющих вершины графа, будем обозначать линиями различного типа, но он становится понятен лишь после выполнения анализа графа. Вначале же все связи обезличены.

Пусть после наложения содержательных связей на исходное древовидное представление структуры предметной области граф системы знаний приобрел вид, показанный на рис. 3.

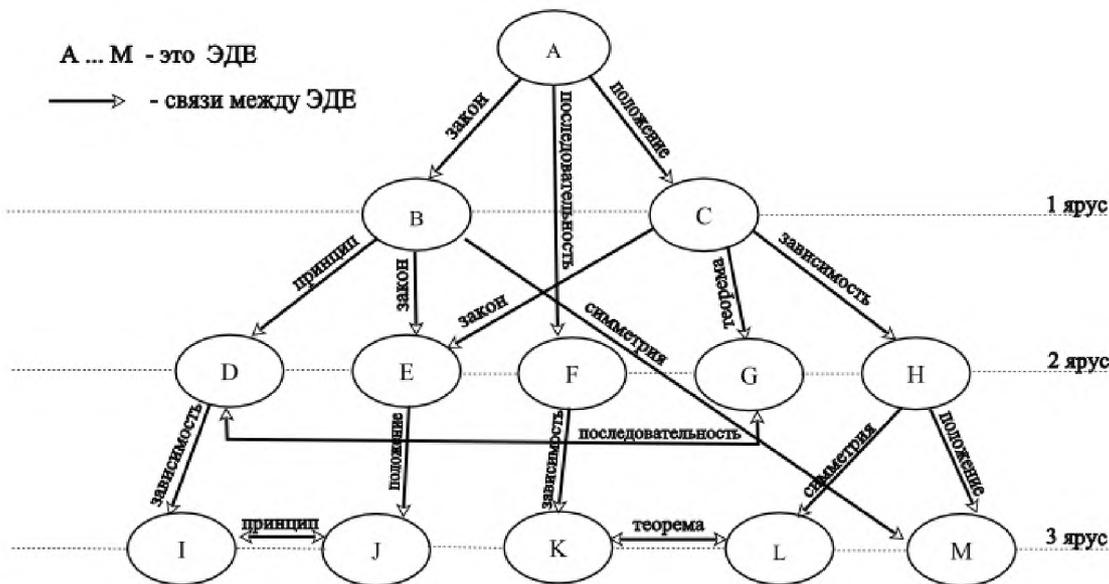


Рис. 3 – Исходное иерархическое представление системы знаний с наложенными на него содержательными связями

Видно, что вершина F благодаря наложенной связи оказалась связана с центром A напрямую. Следовательно, расстояние FA равно 1, и вершина F на самом деле должна располагаться на первом ярусе. Тогда вершины K и M должны относиться

ко второму ярусу. К вершинам E и L проведено по две связи от разных вершин более высокого яруса, что сигнализирует о необходимости выяснения, какую из них следует считать вертикальной, а какую – наклонной.

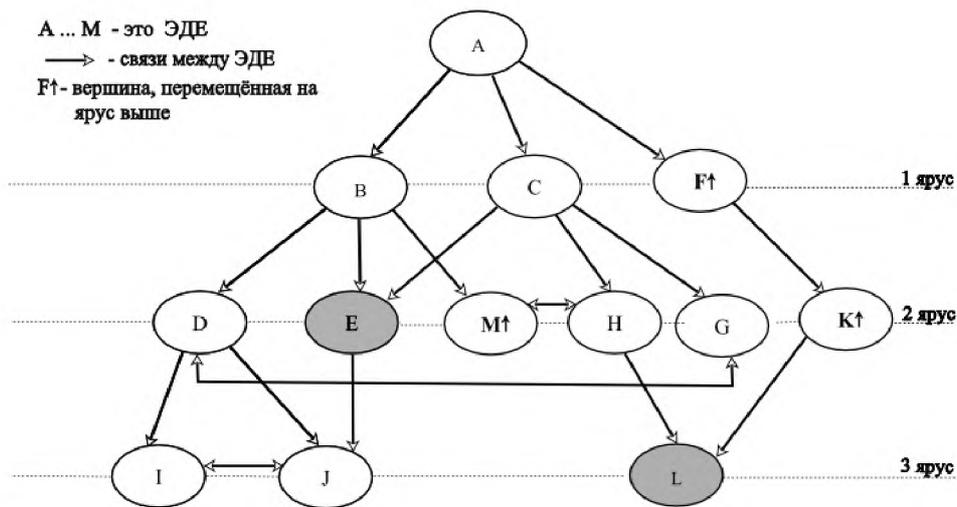


Рис. 4 – Оптимизированный граф структуры системы знаний: первая итерация

Проведенный анализ позволяет правильно перераспределить вершины графа по ярусам, то есть уточнить уровень значимости соответствующих ЭДЕ в структуре знаний. Следующая операция – уточнение видов связей.

На рис. 4 мы передвинули вершины горизонтально, расположив их по «кустам». Например, вершина *M* была перемещена ближе к вершине *B*, хотя изначально располагалась возле *L* в нижнем правом углу рисунка 3. Такая переконмутация позволяет определить характер связей визуально. Так, на рис. 3 вершина *E* второго яруса связана с вершинами *B* и *C* первого яруса. При этом она сама является родовой для вершины *J*, для которой родителем служит *B*, но не *C*. Следовательно, вершину *E* предпочтительно считать принадлежащей «кусту» с вершиной *B*, что определяет вертикальный характер связи между ними. Тогда связь между вершинами *E* и *C* придется считать наклонной,

то есть менее существенной, чем связь *EB* (см. рис. 5).

Для вершины *L* такой асимметрии между родительскими вершинами нет вплоть до самого центра графа. Поэтому для нее задача выбора предпочтительной (в нашей терминологии – вертикальной) связи из пары *LH* и *LK* может быть решена только в рамках содержательного контекста описываемой области знаний. Другими словами, при чисто формальном рассмотрении *L* в равной степени может принадлежать «кусту» как с вершиной *C*, так и с вершиной *F*. Но поскольку за каждой связью на графе стоит некоторый содержательный закон, теорема, правило, это должно позволить сравнение по существу и выяснение того, какая связь более важна, более фундаментальна для данной предметной области. Допустим, эксперты решили, что *LH* более значима, чем *LK*. Тогда в следующей итерации структуры графа (рис. 5) она станет вертикальной, а *LK* – наклонной.

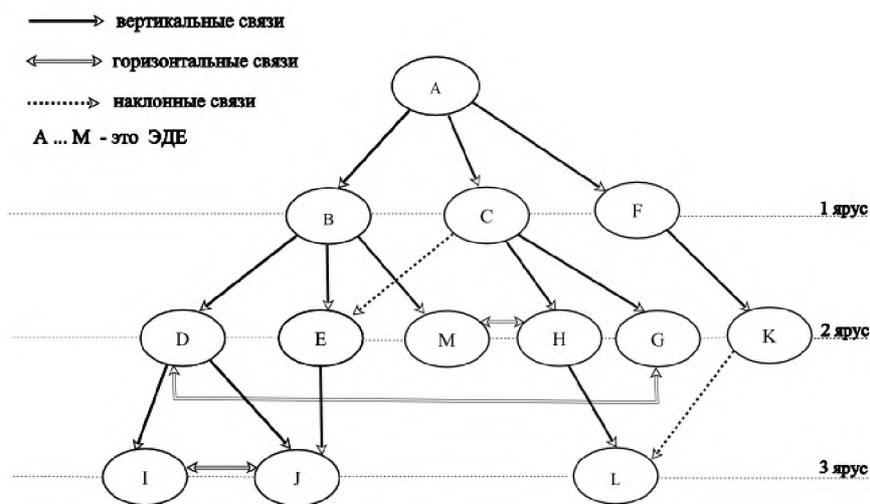


Рис. 5 – Оптимизированный граф структуры системы знаний: вторая итерация

После проведенной коррекции первоначального варианта графа интересующей нас предметной области можно однозначно сказать, какие связи являются горизонтальными, то есть соединяют вершины одного иерархического уровня и обеспечивают «межтемную» и «междисциплинарную» связность предметной области. Например, согласно рис. 5, в данном случае горизонтальными являются связи *DG*, *MH*, *IJ*. Заметим, что представление структуры знаний в виде графа, упорядоченного по описанному алгоритму, позволяет содержательно и объективно разграничить понятия «межпредметных» и «трандисциплинарных» связей. Очевидно, например, что связь *DG*, соединяющая вершины

разных кустов, с большей степенью обоснованности может считаться трандисциплинарной, чем *IJ*.

Таким образом, соединение структуры древовидного графа, построенного по принципу выделения вертикальных связей, с наложенными на него содержательными горизонтальными связями в идеале должно привести к графу, более полно отображающему структуру данной области знаний. Проведение же наклонных связей должно помочь стабилизировать в структуре графа положение и иерархию между вершинами. Данная процедура позволит наглядно отобразить и выделить наиболее существенные элементы знаний рассматриваемой предметной области, а также взаимосвязи между ними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Новосельцев, В.И. Системный анализ: современные концепции [Текст] / В.И. Новосельцев. – Воронеж : Кварта, 2003. – 360 с.
2. Васильев, В.И. Требования к программно-дидактическим тестовым материалам и технологиям компьютерного тестирования [Текст] / В.И. Васильев, А.А. Киричук, Т.Н. Тягунова. – М. : МГУП, 2005. – 29 с.
3. Зыков, А.А. Основы теории графов [Текст] / А.А. Зыков. – М. : Наука, 1987. – 384 с.
4. Беспалько, В.П. Слагаемые педагогической технологии [Текст] / В.П. Беспалько. – М. : Педагогика, 1989. – 192 с.
5. Bloom's Taxonomy [Электронный ресурс] // Wikipedia, the free encyclopedia. – (https://en.wikipedia.org/wiki/Bloom's_taxonomy).
6. Симонов, В.П. Лекции о работе головного мозга. Потребностно-информационная теория высшей нервной деятельности [Текст] / В.П. Симонов. – М. : Изд-во Института психологии РАН, 1998. – 98 с.
7. Кочукова, М.В. Системный подход к разработке содержания баз тестовых заданий для проверки остаточных знаний [Текст] / М.В. Кочукова, В.В. Свиридов, Н.М. Ткачева // Образование и наука: известия Уральского отделения российской академии образования. – 2009. – № 11(68). – С. 31–40.
8. Свиридов, В.В. Сравнение системного и традиционного подходов к разработке банков тестовых заданий [Текст] / В.В. Свиридов, М.В. Кочукова // Alma mater (Вестник высшей школы). – 2013. – № 12. – С. 61–67.
9. Рыжов, А.П. Введение в теорию нечетких множеств [Электронный ресурс] / А.П. Рыжов. – М. : Диалог-МГУ, 2003. – (<http://www.intsys.msu.ru/staff/ryzhov/FuzzySetsTheory&Applications.pdf>).