

## ПРИНЦИПЫ СТРУКТУРИЗАЦИИ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФА СВЯЗНОСТИ ПОНЯТИЙ И КОМПЕТЕНЦИЙ

Жажа Е.Ю., Суэтина Т.А.

### Введение

Современная эпоха характеризуется огромной скоростью обновления знаний, непрерывным появлением новых профессий, необходимостью постоянного повышения профессиональной квалификации. Все больше возрастает потребность в применении электронных образовательных ресурсов (ЭОР) при переподготовке специалистов, принципам разработки которых посвящены многие научные работы. При этом использование новых информационных технологий в процессе обучения требует пересмотра взгляда на сам процесс подготовки за счет использования мощной аппаратной и программной базы. Необходимость разработки и внедрения методов индивидуализации обучения с применением компетентностного подхода является актуальной проблемой, поскольку промышленным предприятиям требуются специалисты, умеющие выполнять конкретные задачи, то есть имеющие определенные компетенции. В данной статье предлагаются подходы к решению указанных задач индивидуализации процесса подготовки персонала, с применением модульно-компетентностного подхода и соответствующую структуризацию учебно-методических материалов в системе электронных образовательных ресурсов.

### Классификация электронных образовательных ресурсов

На основе проведенного авторами анализа составлены классификации ЭОР по основным признакам, определены требования и стандарты, которым они должны соответствовать. В результате показано, что ЭОР должны обладать следующими характеристиками для облегчения восприятия:

- **обнаруживаемость** (возможность легко найти на экране всю необходимую информацию по текущему заданию);
- **различимость** (возможность выявлять основные элементы содержания, а также элементы управления);
- **ясность** (отсутствие двусмысленности в формулировке задания);
- **четкость** (соответствие основным цветовым дизайн-эргономическим требованиям);
- **последовательность** (логическая структуризация изложения материала);
- **лаконичность** (избегание слишком пространственных формулировок);
- **удобочитаемость** (использование удобного для восприятия размера шрифта и масштабирования мультимедиа материалов).

Формы взаимодействия пользователя с контентом можно разбить на следующие основные группы:

- **условно-пассивные формы** (характеризируются отсутствием взаимодействия пользователя с контентом, при этом контент имеет неизменный вид в процессе использования);
- **активные формы** (характеризируются простым взаимодействием пользователя с контентом на уровне элементарных операций с его элементами);
- **деятельностные формы** (характеризируются конструктивным взаимодействием пользователя с элементами контента и отличаются от активных большим числом степеней свободы, выбором последовательности действий, необходимостью анализа на каждом шаге и принятия решений в заданном пространстве параметров и определенном множестве вариантов);
- **исследовательские формы** (исследования ориентируются не на изучение предложенных событий, а на производство собственных произвольных событий).

В настоящее время существует широкий выбор программного обеспечения для электронного обучения (e-Learning). С одной стороны – простые программы, выполненные в HTML, с другой – сложные системы управления обучением и учебным контентом (Learning Content Management Systems), использующиеся в корпоративных компьютерных сетях. Для успешного внедрения системы открытого обучения необходимо сделать правильный выбор программного обеспечения, соответствующего конкретным требованиям. Эти требования определяются потребностями обучаемого и потребностями заказчика. Среди основных типов таких программ можно выделить:

- авторские программные продукты (Authoring Packages);
- системы управления обучением (Learning Management Systems – LMS);
- системы управления контентом (Content Management Systems – CMS);
- системы управления обучением и учебным контентом (Learning Content Management Systems – LCMS).

Сравнение существующего программного обеспечения для разработки ЭОР показало, что учебные модули могут быть информационными (И), практическими (П), а также контрольными (К). Кроме того, модули каждого типа могут иметь вариативы по одной и той же теме, различающиеся углубленностью изучения материала по данной теме, а также контингентом обучаемых, занимающихся по данному курсу.

### **Модульная структура учебного курса**

Как показал анализ применения ЭОР в учебном процессе, целесообразно разбивать учебный курс на отдельные небольшие законченные модули, которые будут изучаться в определенном порядке. Соответственно возникает необходимость провести структуризацию набора модулей учебного курса. Структуризация учебных курсов основывается на связности основных компонентов различных модулей: *понятий и компетенций*.

*Понятие* можно определить как смысловую единицу, которая не может быть разбита на более мелкие смысловые единицы в рамках данного курса.

Компетенция же определяет возможность применения на практике какого-либо набора изученных понятий.

*Ненагруженный оргграф связности понятий модуля в ЯПФ.*

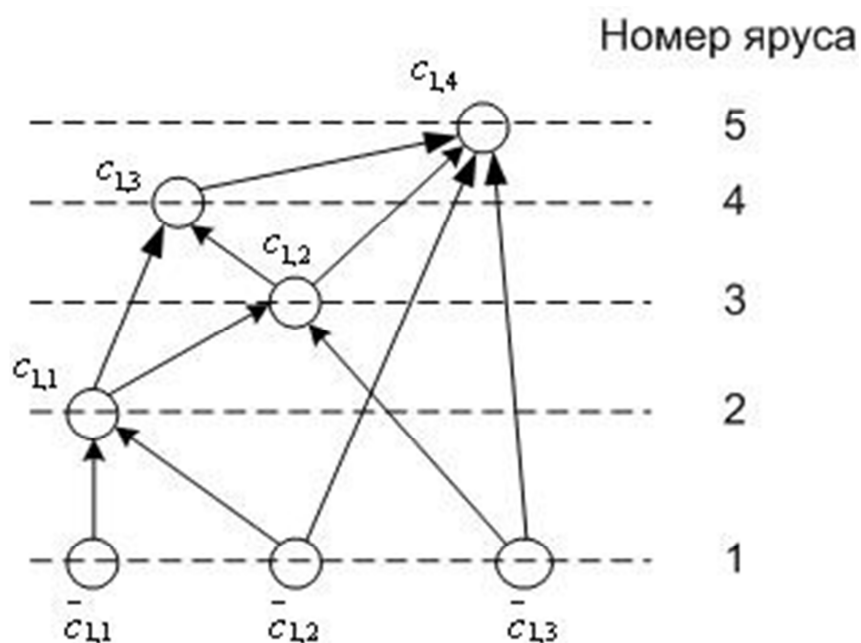
Для реализации модульно-компетентного подхода структуризации учебно-методических материалов в системе ЭОР предлагается для каждого модуля задавать граф связности понятий и компетенций этого модуля (как входных, т.е. тех, которые требуются для изучения данного модуля, так и выходных, изучаемых в модуле). Граф строится на основе матрицы смежности этих понятий и компетенций. Выходные понятия практических и контрольных модулей могут быть как обычными понятиями, так и компетенциями. На рисунке 2 представлен пример графа связности понятий и компетенций в модуле.

*Ненагруженный оргграф связности всех понятий курса.*

После объединения модулей в учебный курс для него строится объединенный граф связности понятий и компетенций, определяющих владение набором понятий (мультиграф из графов отдельных модулей).

*Нагруженный оргграф связности модулей курса.*

После чего строится нагруженный граф связности модулей учебного курса (нагруженность ребра определяет количество понятий, которые связывают 2 смежных модуля).



**Рисунок 2 - Граф связности понятий и компетенций модуля**

Формализованное описание полученного набора графов выглядит следующим образом:  $G = \langle P, K, M(P,K) \rangle$ , где  $P$  – понятия,  $K$  – компетенции,  $M(P,K)$  – модули, включающие в себя изучение некоторых понятий либо овладение некоторыми компетенциями

$$P = \{P_i\}_{i=1}^c, \quad K = \{K_i\}_{i=1}^k, \quad M = \{M_i\}_{i=1}^n, \quad M_i = \langle \{P_j\}_{j=i}^c, \{K_j\}_{j=i}^k \rangle$$

При этом среди понятий учебного курса можно выделить 2 вида крайних понятий:

- *базовые*, которые необходимо знать до изучения данного курса;
- *результатирующие*, изучение которых не требуется для изучения каких-либо других понятий.

### Критерии оценки графов связности

В статье предлагаются критерии оценки предложенных графов связности, позволяющие оценить качество структуризации учебного курса для построения на его основе индивидуальных траекторий обучения:

1. Среднее взвешенное количество понятий ( $c$ ) в модулях.  $k_1 = \sum_{i=1..n} (a * \sum c_{вх} + \sum c_{вых}) / n$ , где коэффициент  $a \in [0..1]$ ,  $n$  – количество модулей (вершин) в графе.
2. Средняя высота графа связности понятий модуля в ярусно-параллельной форме (ЯПФ).  
 $k_2 = \sum_{i=1..n} h_i / n$ , где  $h_i$  – высота графа связности  $i$ -го модуля, представленного в ЯПФ.
3. Среднее количество понятий, необходимых для изучения данного понятия.  
 $k_3 = \sum_{i=1..m} c_{ij} / c$ , где  $c_{ij}$  – понятие, необходимое для изучения  $j$ -го понятия,  $c$  – количество понятий во всех модулях.
4. Число вершинной связности графа (**min** количество модулей, без которых граф станет несвязным).  
 $k_4 = \min(\maxFlow)$ . Значение критерия вычисляется по алгоритму Эдмондса-Карпа о нахождении **max** потока (по теореме Менгера, для любых двух вершин наибольшее число вершинно-непересекающихся простых цепей, соединяющих их, равно наименьшему числу вершин, разделяющих эти вершины, т.е. **min** из всех **max** потоков ненагруженного графа равен числу вершинной связности графа).
5. Диаметр графа (**max** длина траектории обучения).  
 $k_5 = \max(\max(l_{ij}))$ , где  $l_{ij}$  – кратчайшее расстояние от модуля  $i$  до  $j$ .
6. Реберная плотность графа (относительно полносвязного графа).  $k_6 = 2 * r / (n(n-1))$ , где  $r$  – количество ребер (связей).
7. Средняя кратность дуг (количество связанных понятий).  
 $k_7 = c / r$ , где  $c$  – количество понятий во всех модулях.
8. Количество кратных понятий. Определяет количество траекторий обучения.  
 $k_8 = \max(\sum_{i,j} (c_i = c_j))$ .

### Оптимизация структуры учебных курсов

На основании предложенных критериев необходимо провести многокритериальную оптимизацию структуры учебных курсов. Для проведения многокритериальной оптимизации необходимо определить оптимальные значения для всех предложенных критериев оценки графов связности:

1. В критерии  $k_1$  целесообразно оценивать только выходные понятия ( $c_{вых}$ ), т.е.  $a = 0$ .  $k_{1\ opt} \in [3, 7]$ , т.к. согласно психофизиологическим особенностям памяти человека, он в среднем способен одновременно запоминать не более 7 понятий в рамках одного модуля.

В то же время рекомендуется группировать понятия в блоки по 3 элемента для ассоциативного запоминания.

2.  $k_{2\ opt} \in [2, 7]$ .  $k_{2\ opt}$  не больше 7 аналогично с  $k_1$  и не меньше 2, т.к. понятия в модулях должны быть связаны между собой.

3.  $k_{3\ opt} \in [1, 6]$ , т.к. в среднем цепочка должна быть связной, но не слишком длинной ( $< 7$ ).

4.  $k_{4\ opt} \in [2, 0.9*(n-1)]$ , т.е. курс не должен содержать узких мест, которые изучаются только в одном модуле (без вариативов), но и граф не должен быть полносвязным.

5.  $k_{5\ opt} \leq T/t$ , где  $T$  – время, отведенное на изучение курса,  $t$  – среднее время, отведенное на изучение модуля, т.е. длина траектории обучения должна соответствовать времени, отведенному на изучение курса.

6.  $k_{6\ opt} \rightarrow \max$ , т.к. малосвязный граф не позволяет создавать много траекторий обучения.

7.  $k_{7\ opt} \rightarrow \max$ , т.к. большая связанность модулей повышает ассоциативную запоминаемость понятий.

8.  $k_{8\ opt} \rightarrow \max$ , т.к. большее количество траекторий обучения делает курс более адаптивным, т.е. позволяет создавать индивидуальные траектории.

Существует множество методов многокритериальной оптимизации:

- метод справедливого компромисса;
- принцип слабой оптимальности по Парето;
- метод весовых множителей;
- метод эpsilon-ограничений;
- метод приближения к идеальному решению;
- метод последовательных уступок.

Формализованное описание функции оптимизации в данном случае имеет следующий вид:

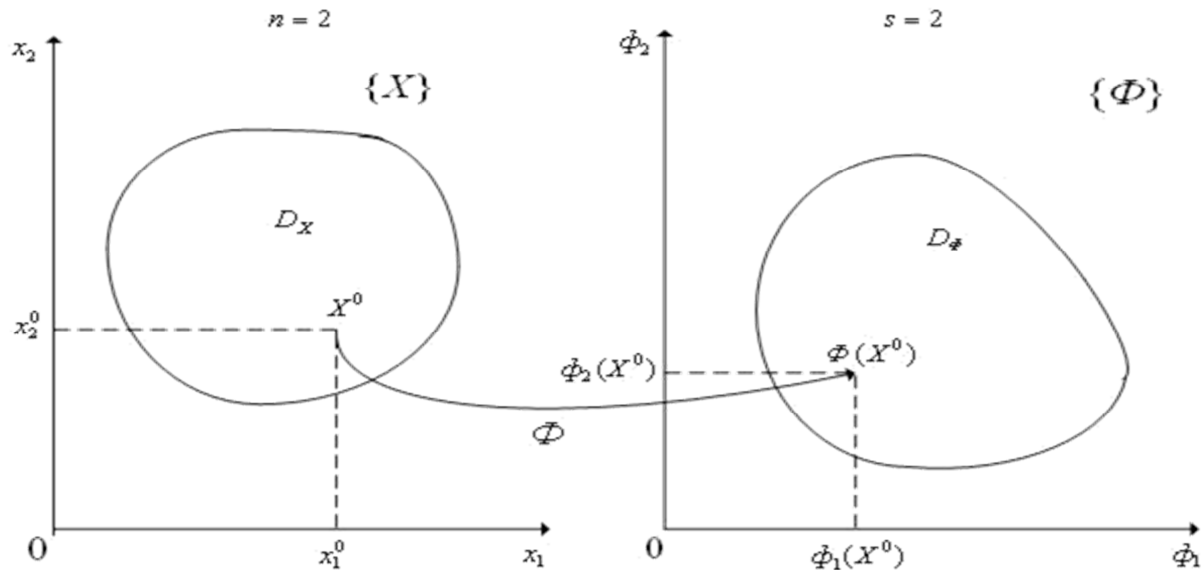
$$\Phi_{opt}(\mathbf{n}, \mathbf{r}, \mathbf{c}, \mathbf{t}, \mathbf{T}) = (k_{1\ opt}, k_{2\ opt}, k_{3\ opt}, k_{4\ opt}, k_{5\ opt}, k_{6\ opt}, k_{7\ opt}, k_{8\ opt}),$$

где  $\mathbf{n}$  – количество модулей,  $\mathbf{r}$  – количество ребер,  $\mathbf{c}$  – количество понятий,  $\mathbf{t}$  – среднее время, отведенное на изучение одного модуля,  $\mathbf{T}$  – количество часов, отведенных на курс (учебный курс повышения квалификации может быть 72 часа, 144 часа либо 288 часов).

$$\mathop{\text{opt}}_{\mathbf{X} \in D_{\mathbf{X}}} \Phi(\mathbf{X}) = \Phi(\mathbf{X}^*), \text{ где } D_{\mathbf{X}} \text{ – множество допустимых значений вектора}$$

варьируемых параметров  $\mathbf{X}$ .

На рисунке 3 изображен векторный критерий оптимальности  $\Phi(X)$ , который выполняет отображение множества допустимых значений  $D_X \in \{X\}$  в некоторую область  $D_\Phi \in \{\Phi\}$ .



**Рисунок 3 - Пространства варьируемых параметров и критериев**

В связи с большим количеством критериев и возможностью выделения наиболее существенных из них в работе предлагается использовать метод последовательных уступок для многокритериальной оптимизации. Согласно выбранному методу процесс оптимизации проводится для всех критериев по очереди, начиная с наиболее важных  $k_1$  и  $k_6$ . Сначала в зависимости от  $r$ , приняв  $n = 50$ ,  $\max(r/c) = 7$ ,  $T = 144$ , затем в зависимости от остальных параметров. Алгоритм расчета наиболее важного критерия ( $k_1$ ) показан на рисунке 4.

Статистическое моделирование набора случайных графов в математическом пакете Mathcad при заданных параметрах (отсутствие циклов в графе связности) показало, что значения критериев, наиболее близкие к оптимальным, достигаются при следующих значениях параметров:

- количество ребер  $r = 2/3 * n * (1 - (n - 13) / n)$ ;
- $\max$  нагруженность ребер  $\max(r/c) = 2$ .

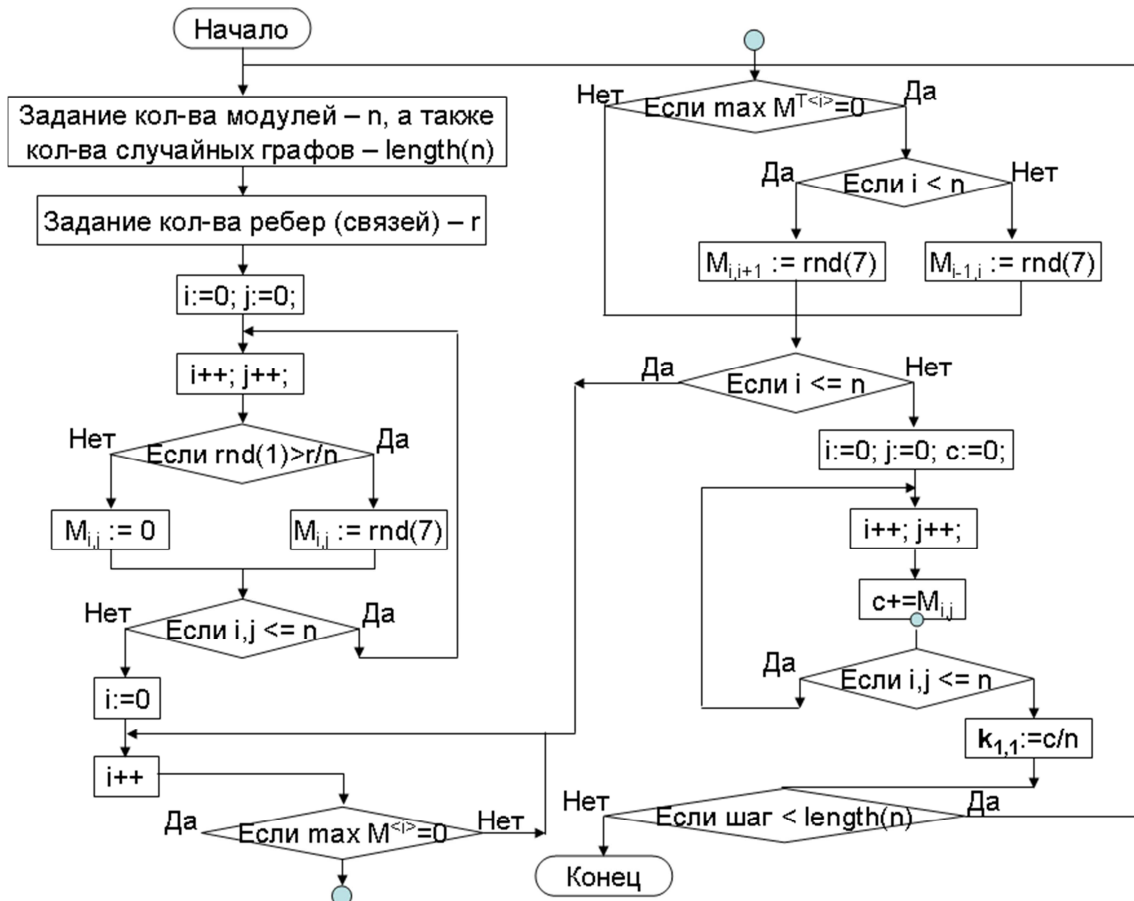


Рисунок 4 - Алгоритм расчета критерия  $k_1$

На рисунке 5 приведен график, полученный на основании моделирования зависимости критериев от количества модулей в графе связности при оптимальных значениях остальных параметров.

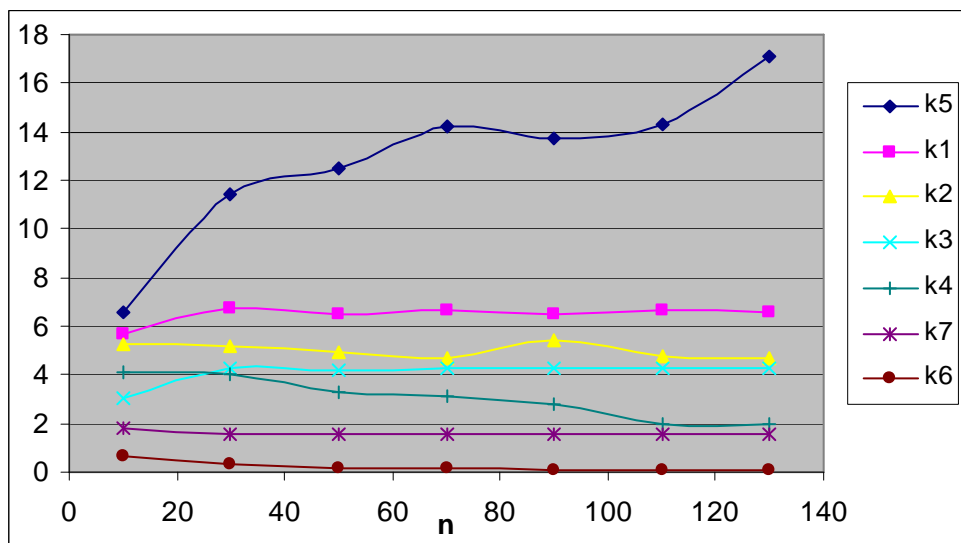


Рисунок 5 - Оценка критериев в зависимости от количества модулей

Как видно из графика значения  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  и  $k_7$  остаются оптимальными при любом количестве модулей и практически не изменяются при 20 и более модулях. Значения  $k_4$  и  $k_6$  уменьшаются при увеличении количества модулей, что естественно, т.к. иначе бы в каждом модуле было бы слишком много понятий. Критерий  $k_5$  увеличивается при увеличении количества модулей, но он не должен превышать количества часов отведенных на курс, разбитых на модули.

Проведение многокритериальной оптимизации набора случайных графов с заданными параметрами в пакете Mathcad позволило сделать следующий вывод: граф связности модулей, наиболее приближенный к оптимальным значениям критериев его оценки, должен иметь ребра, нагруженностью не более 2, и содержать в среднем 6,5 выходных понятий в каждом модуле.

Для работы с учебным курсом должна происходить выборка модулей, которые должны изучаться в определенном порядке, т.е. должна строиться траектория обучения по этому курсу. Причем эти траектории должны различаться в зависимости от требований и возможностей обучаемого.

Состав учебного модуля в этом случае можно разбить на 2 основных элемента:

- **метаданные** (описывающие общие характеристики модуля, такие как вариатив, тип модуля, подраздел рубрикатора);
- **содержание** (контент модуля, который разбит на отдельные понятия для связи с другими модулями).

Для построения индивидуальной образовательной траектории обучения предварительно проводится входное тестирование, определяющее знания заданного для тестирования набора понятий и владение необходимыми компетенциями. По результатам входного тестирования определяется, какие понятия и компетенции должны входить в индивидуальную траекторию обучения, если при этом обучаемый знает необходимый набор базовых понятий курса.

## **Заключение**

Исследование составленных графов связности по предложенным критериям их оценки показал, что критерий  $k_1$  находится за пределами интервала оптимальных значений ( $k_1 = 2.3$ , в то время как интервал оптимальных значений для критерия  $[3, 7]$ ). Кроме того, в учебном курсе мало различных вариативов и кратных понятий в различных модулях ( $k_8$ ), что не позволяет построить большое количество индивидуальных траекторий обучения. На основании этого анализа составлены рекомендации по изменению структуры учебного курса. Для построения индивидуальной траектории обучения разработан модуль входного тестирования на основе существующих в учебном курсе практических модулей и модулей контроля, содержащий задания для проверки знаний по всем понятиям и проверки овладения каждой из соответствующих компетенций. Перед началом входного тестирования для модуля задаются понятие и компетенции, знание и владение которыми необходимо изучить в рамках текущего цикла занятий. После прохождения обучаемым модуля входного тестирования для него строится индивидуальная траектория обучения,



состоящая из новых понятий и компетенций, которыми обучаемый еще не овладел в рамках заданного для входного тестирования набора понятий и компетенций.

### **Список информационных источников**

- [1] Свободин В.Ю. Анализ базовых моделей связности учебного материала / Строганов В.Ю., Карташов М.И., Ульянова А.И., Свободин В.Ю. // Оптимизация решений в промышленности, строительстве и образовании: сб. науч. тр. МАДИ № 1/45. – М.: МАДИ, 2010. – С. 49-52.
- [2] Свободин В.Ю. Модель генерации образовательной траектории / Строганов В.Ю., Карташов М.И., Ульянова А.И., Свободин В.Ю. // Оптимизация решений в промышленности, строительстве и образовании: сб. науч. тр. МАДИ № 1/45. – М.: МАДИ, 2010. – С. 53-61.
- [3] Карташев М.И. Интерфейсные формы системы управления персоналом / Брыль В.Н., Карташев М.И., Николаев А.Б., Свечников А.А., Якунин П.С. // Автоматизация систем управления персоналом: сб. науч. тр. МАДИ. – М.: МАДИ, 2011. – С. 11-16.