

Т.Л. Мазурок

Логико-математическая модель управления обучением

Разработана логико-математическая модель в виде элементов формальной системы управления обучением. Особенность модели – возможность построения на ее основе индивидуальных траекторий обучения с учетом системы межпредметных связей в условиях компетентного подхода. Приведены результаты практической реализации.

A logic-mathematical model is developed as the elements of the formal control teaching system. A model feature is a possibility of the construction, on its basis, of individual teaching trajectories taking into account the system of interdisciplinary connections under conditions of the competency approach. The results of practical realization are presented.

Розроблено логіко-математичну модель у вигляді елементів формальної системи управління навчанням. Особливість моделі – можливість створення на її основі індивідуальних траєкторій навчання з урахуванням системи міжпредметних зв'язків в умовах компетентного підходу. Наведено результати практичної реалізації.

Введение. Современный этап развития образования характеризуется возрастанием сложности задач, решаемых в обучении. Такая тенденция связана прежде всего с увеличением объема необходимых для изучения знаний, нестабильностью востребованных компетенций на рынке труда, необходимостью учета дидактических требований к реализации индивидуального обучения на протяжении всей жизни [1]. Широкое внедрение в практику обучения компьютерных средств позволяет повысить его эффективность при условии применения адаптивных средств управления всем процессом обучения как целенаправленным процессом [2].

Рассмотрение обучения как управляемого процесса носит многоаспектный характер. Основу разработки методов управления обучением составляют исследования в области психологической теории обучения, дидактики, системного анализа, кибернетики, теорий управления и адаптации.

Несмотря на ведущую роль систем управления в повышении эффективности обучения, отсутствие теоретико-методологической базы их разработки для осуществления комплексного управления на основе современных дидактических требований определяет **актуальность** совершенствования автоматизированных средств управления обучением.

Обучение как целенаправленный процесс подлежит интерпретации отношения объекта управления и управляющего устройства, реализующего заданный алгоритм управления (обу-

чения). Такой подход позволяет на основе использования методов теории и практики управления применительно к дидактически обоснованным требованиям создать базу для реализации оптимального обучения. Под оптимальностью в обучении понимают возможность полной индивидуализации алгоритма обучения на основе методов теории адаптации [3].

Анализ исследований и публикаций

Первоначальные представления об управлении обучением связаны с появлением идеи программированного обучения, выдвинутой Б.Ф. Скиннером. Дальнейшее совершенствование управления обучением связано с работами Растригина Л.А., Эренштейна М.Ч., Соловова А.П. Однако специфика обучения, проявляющаяся в отсутствии математических закономерностей описания элементов схемы управления, определила возможность качественного скачка в совершенствовании и развитии интеллектуальных средств управления. В соответствии с динамикой развития прикладных систем искусственного интеллекта для управления обучением применялись экспертные системы (ЭС), интеллектуальные обучающие системы. Однако методология разработки интеллектуальных управляющих систем в настоящее время не нашла отражения в создании систем управления целостным процессом обучения с учетом современных многогранных дидактических требований. Разработка интеллектуальной системы управления процессом обучения предполагает создание системы фор-

ны, управляющая система упрощенно представлена на схеме множеством D , а командная информация – в виде УЭ. Информация о состоянии внешней среды в виде требований к должностным компетенциям обучаемых обозначена на схеме K , а K' – информация о формируемой системе компетенций, имеющаяся в управляющей системе с указанием планируемой степени достижения каждой из ее элементов. Для реализации обратной связи используется информация о состоянии ОУ в виде фактически достигнутого уровня каждого из элементов компетенции – $K_{\text{факт}}$ и соответствующая ей информация, имеющаяся в управляющей системе – $K'_{\text{факт}}$.

Схема интеллектуального управления обучением, построенная в соответствии с теорией функциональной системы [5], представлена на рис. 2. На основании сведений об окружающей среде и собственном состоянии системы при наличии потребности и мотивации формируется цель, которая наряду с другими данными воспринимается системой, осуществляющей нечеткий логический вывод. Вывод получим на основе использования баз знаний (БЗ) науки, формирующей БЗ учебной дисциплины, а также БЗ, содержащей дидактические рекомендации, и БЗ в виде нечетких правил продукции относительно целесообразности установления системы межпредметных связей. На основе срабатывания логического вывода принимается решение о действии, т.е. выборе очередного УЭ, и прогнозируются результаты действия как до-

стижимость требуемой компетенции (акцептор действия). В соответствии с принятым решением вырабатывается управление, т.е. осуществляется обучающее воздействие с помощью дидактических средств. В этом проявляется воздействие на ОУ. Результаты контроля усвоения рекомендуемой последовательности УЭ сравниваются с прогнозируемыми (механизм обратной связи, акцептор действия). При их несоответствии на базе новой экспертной оценки принимается решение, вырабатывается и реализуется управление, устраняющее это несоответствие, т.е. выполняется этап коррекции. При соответствии результатов подкрепляется предшествующее управление. Если соответствие недостижимо, то уточняется цель. Приведенная схема (рис. 2) – конкретизация инвариантной структуры функциональной системы афферентного синтеза, являющейся исходным для построения любой целенаправленной деятельности.

Формализация элементов процесса обучения

Рассмотрим краткую характеристику каждого из рассматриваемых множеств L , D , K . Существует множество подходов к заданию отношений между обучаемыми. Однако с точки зрения управления, на наш взгляд, наиболее эффективно – разбиение множества L на однородные (однородные) группы в соответствии с индивидуальными характеристиками обучаемых. Дидактическое обоснование необходимости такого разбиения приведено в [2]. Различ-

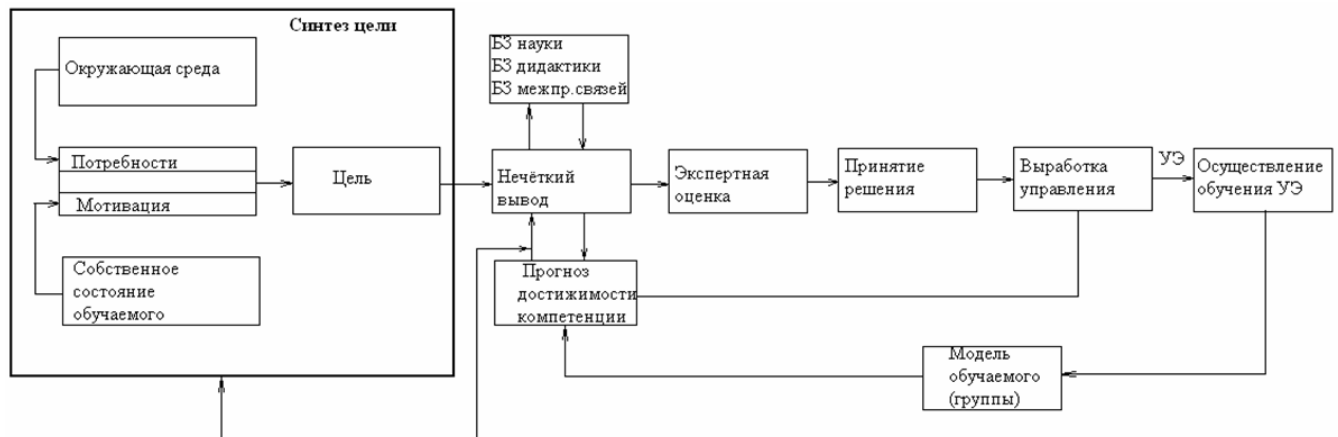


Рис. 2. Структурная схема интеллектуального управления обучением

ные формы автоматизированного обучения, в частности, дистанционное обучение, позволяет формировать виртуальные коллективы обучаемых по критериям познавательных способностей. При данном разбиении можно уменьшить размерность множества формируемых управляющих воздействий с учетом индивидуальных характеристик обучаемых. Таким образом, множество обучаемых L состоит из подмножеств L_1, L_2, \dots, L_{n_l} , причем:

$$L_1 \cup L_2 \cup \dots \cup L_{n_l} = L. \quad (1)$$

Каждая из групп L_i характеризуется набором атрибутов ИК = <УУ, СА>, где УУс – уровень усвоения, СА – степень абстракции. Согласно известному методу матричного сопоставления личностных свойств и видов общественно-производственной деятельности, определено восемь основных компонентов в структуре интеллекта, формирование которых способствует наилучшей реализации генетических задатков индивида. Таким образом,

$$L_i = \{ \langle \text{УУс}, \text{СА} \rangle_j \}, \quad j = \overline{1,8}, \quad (2)$$

где j – основные компоненты в структуре интеллекта (например, логико-математический, пространственный и т.д.).

В соответствии с иерархической структурой монопредметной учебной дисциплины определим множество d_i как совокупность подмножеств разделов d_i^k , тем d_i^m , учебных элементов d_i^{eb} , где индексы k, m, b определяют мощность соответствующих подмножеств, т.е. количество разделов, тем и УЭ соответственно. Тогда, используя отношение включения, можно записать:

$$\left(\left(\left(d_i^{eb} \subset d_i^m \right) \subset d_i^k \right) \subset d_i \right) \subset D. \quad (3)$$

Аналогично опишем подмножества формируемых компетенций. В соответствии с компетенциями выделяются общенаучные компетенции k_j^{onf} , социально-личностные k_j^{slg} , специально-профессиональные k_j^{spn} , общепрофессиональные k_j^{opi} , инструментальные k_j^{inp} , где ин-

дексы f, g, h, t, p определяют мощность соответствующих подмножеств, т.е. количество соответствующих компетенций в указанных группах.

Отметим, что процесс формирования компетенций отражает свойство эмерджентности, которое проявляется в том, что достижение системы компетенций не равно сумме знаний, умений и навыков каждой из учебных дисциплин. Таким образом,

$$k_j \neq d_1 + d_2 + \dots + d_m. \quad (4)$$

В общем случае в достижении компетенций участвуют кроме учебных дисциплин, множества межпредметных связей $\{mp_{1-2}, mp_{2-3}, \dots, mp_{x-y}\} \in MP$, где mp_{x-y} – множество межпредметных связей между учебными дисциплинами x и y .

Формирование компетенций, например в условиях традиционного высшего образования, можно представить с помощью отношения включения:

$$D \cup MP \subset K. \quad (5)$$

Зададим отношения между рассмотренными множествами обучаемых L , учебными дисциплинами D , системой формируемых компетенций K . Отношения между элементами множеств L и D соответствуют множеству отношений «овладеть учебным материалом». Обозначим его O^* (знак $*$ используется для отличия множества элементов системы от множества отношений). Тогда можно записать LO^*D , что означает: множество обучаемых овладевает множеством учебных дисциплин. Множество отношений между элементами множества D и K , L и K обозначим F^* и W^* соответственно. Они означают: F^* – «формирует компетенцию» и W^* – «достичь компетенции» соответственно.

В связи с тем что для формирования последовательности изучения УЭ необходимо учесть внутрипредметные и межпредметные связи, введем дополнительно отношения между УЭ, отражающие указанные взаимосвязи. На схеме

возможных взаимосвязей между УЭ (рис. 3) обозначены следующие виды отношений:

1 – отношение «изучаемый УЭ» входит в «изучение темы» – отношение подчинения;

2 – отношение «изучаемый УЭ» следует за «изученным УЭ» – отношение следования;

3 – отношение «изучаемый УЭ» предшествует «учебному элементу» – отношение предшествования;

4 – отношение «межпредметная связь» между УЭ и темой (соответствует дидактически применяемому отношению «часть – целое» [6]);

5 – отношение «межпредметная связь» между УЭ учебной дисциплины d_1 и d_2 («часть – часть»);

6 – отношение «межпредметная связь» между темой учебной дисциплины d_1 и d_2 («целое – целое»).

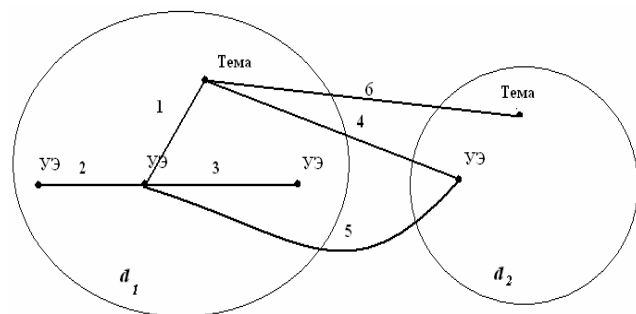


Рис. 3. Схема взаимосвязей между УЭ

Все остальные возможные отношения между структурными элементами учебных дисциплин сводятся к рассмотренным шести видам отношений. Например, отношения, выражающие межпредметную связь между темами и разделами, разделами и учебными дисциплинами относятся к виду 4 отношений – «часть – целое». Аналогично вводятся отношения подчинения, следования и предшествования тем, разделов, учебных дисциплин. Для отражения взаимосвязи между учебными дисциплинами используется отношение «степень интеграции». Между элементами множеств MP и K вводится отношение включения.

На основе детального рассмотрения множеств и отношений между ними, возникающими при выборе последовательности УЭ, а также основываясь на определении модели M ,

приведенной в работе [4], в которой моделью называют кортеж, состоящий из некоторого множества и отношений на этом множестве, что можно записать:

$$M^L = \langle L, \subset \rangle, \quad M^D = \langle D, \subset \rangle, \\ M^K = \langle K, \subset \rangle, \quad M^{MP} = \langle MP, \subset, \Phi \rangle, \quad (6)$$

где ρ – отношения подчинения, выражающие вид межпредметной взаимосвязи «часть – целое»; τ – отношения толерантности, выражающие наличие межпредметной взаимосвязи между элементами одного уровня («часть – часть», «целое – целое»).

Модель взаимосвязи между системой межпредметных связей и системой компетенций имеет вид:

$$M^{MP,K} = \langle MPF * K \rangle. \quad (7)$$

Формализация отношений в системе управления

Отношения между элементами множеств L , D , K , MP заданы строго в рамках общей схемы управления обучением.

Основные отношения между рассмотренными множествами можно представить в виде неориентированных графов (рис. 4). Каждый из приведенных вариантов отношений соответствует определенной ситуации в процессе обучения. Рассмотрим содержательную интерпретацию ситуаций, задающих качественную характеристику состояний системы управления обучением Z .

Ситуация 1. Характеризуется отсутствием отношений между элементами множеств L , D , K , MP , что соответствует неуправляемости процессом.

Ситуация 2. Характеризуется наличием отношения LO^*D , что соответствует ситуации, при которой множество обучаемых овладевает материалом учебных дисциплин. Интеллектуальная поддержка управления этим процессом не происходит.

Ситуация 3. Характеризуется наличием отношения LW^*K , соответствующего ситуации, при которой множество обучаемых достигло системы компетенций. Такая ситуация может

быть результирующей по окончании управляемого процесса обучения либо самообучения.

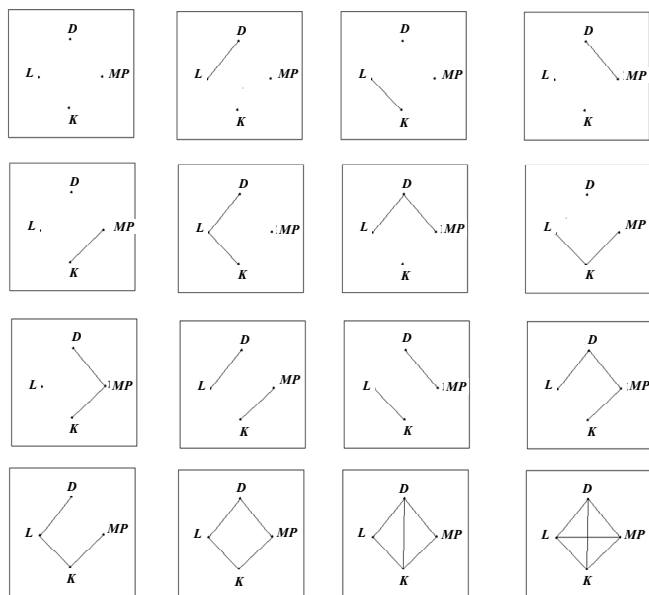


Рис. 4. Варианты отношений между элементами схемы управления обучением

Ситуация 4. Характеризуется наличием отношения DP^*MP , что соответствует процессу подготовки базы нечетких правил, устанавливающих целесообразные межпредметные связи, на основе опроса экспертов – преподавателей-предметников. Является подготовительным этапом для осуществления интеллектуального управления.

Ситуация 5. Характеризуется наличием отношения MPF^*K , определяющего установление соответствия между системой межпредметных связей и системой формируемых компетенций. Отсутствие множества обучаемых в отношении означает подготовительный этап, осуществляемый с привлечением экспертов.

Ситуация 6. Характеризуется наличием отношений LO^*D и LW^*K , что соответствует неуправляемому овладению обучаемыми материалом учебных дисциплин, формированию компетенций без учета системы межпредметных связей.

Ситуация 7. Характеризуется наличием отношений LO^*D и DP^*MP , соответствующих овладению обучаемыми учебным материалом дисциплин с учетом системы межпредметных

связей в отсутствие интеллектуальной поддержки процесса управляемости достижением компетенций.

Ситуация 8. Характеризуется наличием отношений LW^*K и MPF^*K , что соответствует процессу формирования компетенций у множества обучаемых с учетом системы межпредметных связей в условиях отсутствия или нестабильности разработанных структур учебных дисциплин, что также не позволяет полноценно управлять процессом обучения.

Ситуация 9. Характеризуется наличием отношений DP^*MP и MPF^*K , соответствующих возможности управления процессом формирования системы компетенций с учетом системы межпредметных связей между структурированными учебными дисциплинами. Однако отсутствие ОУ противоречит одной из основных аксиом управления, следовательно, этот процесс неуправляем и неконтролируем.

Ситуация 10. Характеризуется наличием отношений LO^*D и MPF^*K , что соответствует процессу овладения обучаемых множеством учебных дисциплин без учета межпредметных связей в условиях нереализованного компетентностного подхода. Такая ситуация присуща традиционному образованию с подготовленной частью БЗ о соответствии между системой межпредметных связей и формируемыми компетенциями и может рассматриваться в качестве одной из возможных подготовительных стадий перед обучением.

Ситуация 11. Характеризуется наличием отношений LW^*K и DP^*MP , соответствующих формированию компетенций у множества обучаемых, наличию БЗ межпредметных связей между учебными дисциплинами. Отсутствие информации о влиянии межпредметных связей на достижение компетенций, а также отсутствие овладения материалом множеством обучаемых приводит к невозможности управления процессом обучения.

Ситуация 12. Характеризуется наличием отношений LO^*D , DP^*MP , MPF^*K , что соответствует овладению обучаемыми множеством

учебных дисциплин с учетом межпредметных связей, способствующих достижению системы компетенций. Однако отсутствует информация об учебных дисциплинах, формирующих компетенции, а также нет отношения достижения компетенций обучаемыми. Данная ситуация соответствует традиционному обучению с использованием системы межпредметных связей, формирующих компетенции в условиях отсутствия компетентностного подхода. Процесс неуправляем, так как нет взаимосвязи между ОУ и целью обучения.

Ситуация 13. Характеризуется наличием отношений LO^*D , MPF^*K , LW^*K , соответствующих ситуации овладения обучаемыми множеством учебных дисциплин и формирования у них компетенций на основе системы межпредметных связей. Эти процессы не скоординированы, так как нет взаимосвязи между учебными дисциплинами и системой межпредметных связей, что может быть следствием отсутствия информационных связей между множествами D и MP по разным причинам (отсутствие технических средств обучения, БЗ и т.д.). Процесс обучения может быть управляем в ручном режиме преподавателем.

Ситуация 14. Характеризуется наличием отношений LO^*D , LW^*K , MPF^*K , DP^*MP , что соответствует процессу овладения обучаемых множеством учебных дисциплин с учётом межпредметных связей, способствующих достижению множества компетенций в условиях компетентностного обучения. Отсутствие взаимосвязи между учебными дисциплинами и формируемыми ими компетенциями – причина неуправляемости обучением в целом.

Ситуация 15. Характеризуется наличием отношений LO^*D , LW^*K , MPF^*K , DP^*MP , DF^*K , соответствующих процессу овладения обучаемых множеством учебных дисциплин, формирующих требуемые компетенции на основе их взаимосвязи с учебными дисциплинами с учетом межпредметных связей. Эта ситуация является эталонной с точки зрения управляемости процессом обучения в указанной постановке.

Ситуация 16. Характеризуется наличием отношений LO^*D , LW^*K , MPF^*K , DP^*MP , DF^*K , LV^*MP , где V^* – отношение овладения межпредметными знаниями, навыками, умениями в дополнение к предыдущей ситуации, что позволяет повысить адаптивные свойства формируемой последовательности УЭ за счет индивидуального выбора элементов системы межпредметных связей. Ситуация адаптивно управляема интеллектуальными средствами.

Таким образом, получены модели i -х состояний системы M_i^c , совокупность которых представляет сигнатуру формальной базовой теории T [4]. Состояния системы на основе рассмотренных ситуаций можно формально записать следующим образом:

$$M_1^c = \left\langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \right\rangle,$$

$$M_2^c = \left\langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \right\rangle,$$

$$M_3^c = \left\langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \right\rangle,$$

$$M_4^c = \left\langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \right\rangle,$$

$$M_5^c = \left\langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \right\rangle,$$

$$M_6^c = \left\langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \right\rangle,$$

$$M_7^c = \left\langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \right\rangle,$$

$$M_8^c = \left\langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \right\rangle,$$

$$\begin{aligned}
M_9^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \\
&\quad \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\
M_{10}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \\
&\quad \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\
M_{11}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \\
&\quad \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\
M_{12}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \\
&\quad \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\
M_{13}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \\
&\quad \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\
M_{14}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \\
&\quad \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\
M_{15}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \\
&\quad \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle, \\
M_{16}^c &= \langle \overline{LO^*D}, \overline{LW^*K}, \overline{MPF^*K}, \\
&\quad \overline{DP^*MP}, \overline{DF^*K}, \overline{LV^*MP} \rangle.
\end{aligned} \tag{8}$$

Кортеж символов $\sum = \langle M_1^c, M_2^c, \dots, M_{16}^c \rangle$ согласно [4] – сигнатура. Над этой сигатурой возможно дальнейшее определение аксиоматики. На основе схемы управления при помощи корреспонденции отношений образуется система нелогических аксиом. Например, одной из аксиом является следующая:

$$f^{-1}(M_2^c, M_3^c) \xrightarrow{Kor} M_6, \tag{9}$$

где \xrightarrow{Kor} обозначает корреспонденцию отношений.

Покажем графическую иллюстрацию операции корреспонденции отношений и сформулируем ее содержательную интерпретацию. Корреспонденция отношений из M_2^c и M_3^c в M_6 показана на рис. 5.

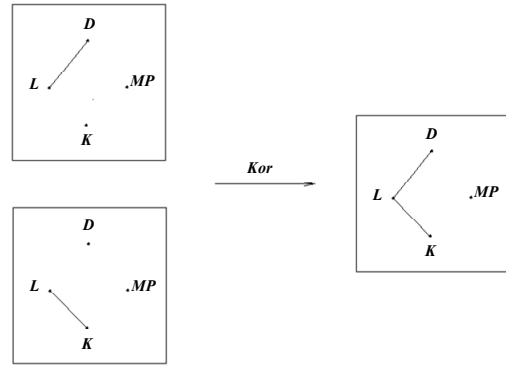


Рис. 5. Иллюстрация операции корреспонденции отношений

Такая операция соответствует выполнению аксиомы (9). Логика аксиомы позволяет записать следующий предикат: «Множество обучаемых осваивает количество учебных дисциплин и достигает множество компетенций». Формальная запись, отражающая существо композиции отношений (рис. 5), имеет вид:

$$\Pi(L_i, d_n^{t_m}, k_j^{sp_h}) : M \rightarrow g_\varphi \circ d_\phi, \tag{10}$$

где Π – трехместный предикат. Система нелогических аксиом – основа для правил вывода БЗ. Множество моделей объектов системы $Z \{M^L, M^D, M^K, M^{MP}, M^{M_R}\} \in M^Z$, сигнатура моделей системы и аксиоматика системы, положенная в основу создания правил нечеткого вывода, составляют теоретическую базу корректности интеллектуального управления процессом обучения.

Практическая реализация

Предложенная логико-математическая модель составила основу для разработки основных модулей, реализующих интеллектуальную поддержку процесса принятия решений тьютором при разработке индивидуальных траекторий обучения студентов Одесского национального политехнического университета. На основе структурированных моделей учебных дисциплин и межпредметных связей между ними методами нечеткой кластеризации выделены векторы степеней интеграции между дисциплинами, существенно влияющими на формирование компетенций бакалавров специальности 0925 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии» [7]. Реализация ло-

гического вывода на основе полученной базы нечётких правил позволяет учесть основные современные дидактические требования в процессе управления обучением.

Заключение. Полученная модель представляет собой теоретическую основу для построения нечетких правил продукций, на базе которых реализуется нейро-нечеткое управление процессом формирования индивидуальных траекторий обучения с учетом внутри- и межпредметных связей в условиях компетентностного подхода. Перспективным направлением является реализация отдельных функций управляющей системы с помощью многоагентных технологий.

1. *Gritsenko V., Synytsya K., Manako A.* ICT competencies training in information society // Proc. of the Third Intern. Conf. «New Information Technologies in

Education for All: e-education». – Kiev.: IRTC, 2008. – P. 9–16.

2. *Беспалько В.П.* Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия). – М.: МПСИ, 2002. – 352 с.
3. *Растригин Л.А., Эренштейн М.Х.* Адаптивное обучение с моделью обучаемого. – Рига: Зинатне, 1988. – 160 с.
4. *Белова Л.А., Метешкин К.А., Уваров О.В.* Логико-математические основы управления учебными процессами высших учебных заведений. – Харьков: Восточно-региональный центр гуманитарно-образовательных инициатив, 2001. – 272 с.
5. *Пупков К.А., Коньков В.Г.* Интеллектуальные системы. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 348 с.
6. *Ерёмкин А.И.* Система межпредметных связей в высшей школе. – Харьков: ХГУ, 1984. – 151 с.
7. *Мазурок Т.Л.* Нейросетевой анализ должностных компетенций // Вестник ХНТУ. – 2008. – № 1(30). – С. 62–66.

© Т.Л. Мазурок, 2009

