

В. И. Карпов, Н. В. Лабутина,  
К. С. Мышенков

## ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

*Приведены некоторые результаты выполнения проекта “Разработка системы текущего и итогового контроля за формированием профессиональных знаний студентов” аналитической ведомственной целевой программы “Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008)”, рег. номер. 01.2.007 03386.*

В настоящее время возникают противоречия между стоящими перед высшей школой проблемами и методами и средствами их решения. Разрешение этих противоречий возможно с применением современных информационных технологий, дающих инструмент для решения задач. К таким проблемам можно отнести задачу формирования содержания обучения при разработке учебных планов вузов нового поколения.

**Модель содержания обучения.** В формализованном виде содержание учебной дисциплины можно представить в виде графа  $G$ , вершинами которого являются понятия или умения, а дуги определяют логическую связь между ними:

$$G = \langle X, U \rangle,$$

где  $X$  — множество понятий и умений;  $U$  — множество пар  $\langle x_i, x_j \rangle$  — дуги графа,  $x_i \in X$ ,  $x_j \in X$ , дуга  $\langle x_i, x_j \rangle$  означает, что  $x_i$  используется в  $x_j$  (рис. 1).

Учебные модули (определенные конечные части учебной дисциплины) формируются по определенному алгоритму, который учитывает степень взаимодействия элементов между ними (рис. 2). При формировании содержания дисциплины выделяются основные составляющие ее учебные модули, в соответствии с логикой их согласованности (используемая вершина графа должна быть назначена ранее использующей). Вес (сила) связи между модулями после объединения равен числу дуг, исходящих из одного модуля в другой. В приведенном примере вес связи  $P_{1,2}$  между модулями  $X_1$  и  $X_2$  равен 6 (рис. 3). На этом рисунке для каждого модуля было назначено число понятий и умений, равное 4.

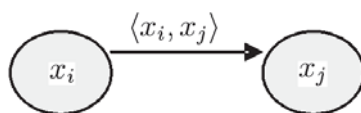


Рис. 1. Связь между понятиями  $x_i$  и  $x_j$

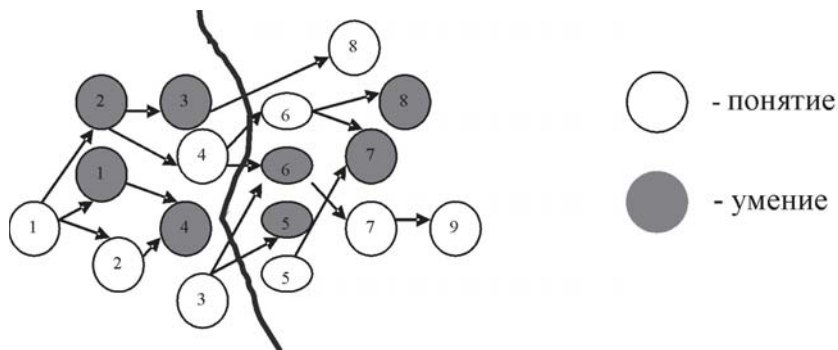


Рис. 2. Формальное представление возможного содержания обучения

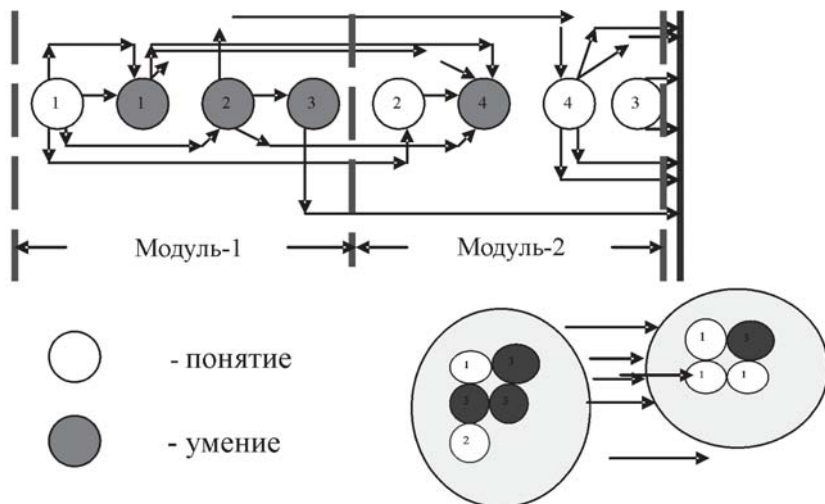


Рис. 3. Пример формирования двух модулей:

$x_1$  — модуль-1;  $x_2$  — модуль-2;  $P_{1,2} = 6$

**Коэффициенты внутренней важности объектов изучения.** Для каждого понятия, умения или модуля (объектов изучения) можно ввести коэффициенты, оценивающие степень важности этих объектов для обучения студентов с точки зрения логических связей между всеми объектами содержания. При этом нужно учесть не только вес непосредственной связи между объектами изучения, но и опосредованные связи через другие объекты. Покажем возможный способ определения этих коэффициентов на примере связей между понятиями (рис. 4). Определим для каждой вершины  $X_i$  степень важности  $P_i$ . Эту степень определим числом путей, исходящих из вершины  $X_i$  во все другие вершины, а в качестве коэффициента внутренней важности примем нормированный ранг вершины. Набор нормированных рангов для всех вершин графа определяет в данном случае вектор рангов  $PN$ :

$$PN = \langle pn_1, pn_2, \dots, pn_6 \rangle.$$

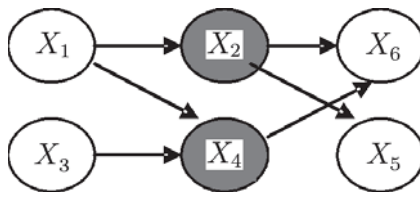


Рис. 4. Пример взаимосвязей понятий и умений внутри учебного модуля

В теории графов нормированный ранг вершина определяется методом, известным как “задача о лидере” [1]. Применяя процедуру получения матрицы транзитивного замыкания бинарных отношений алгоритма “задачи о лидере”, получаем

$$\begin{array}{ll}
 P_1 = 1 + 1 + 1 = 3 & pn_1 = 3/(3 + 1 + 2 + 1) = 0,44; \\
 P_2 = 1 & pn_2 = 1/(3 + 1 + 2 + 1) = 0,14; \\
 P_3 = 2 & pn_3 = 2/(3 + 1 + 2 + 1) = 0,28; \\
 P_4 = 1 & pn_4 = 1/(3 + 1 + 2 + 1) = 0,14; \\
 P_5 = 0 & pn_5 = 0/(3 + 1 + 2 + 1) = 0,0; \\
 P_6 = 0 & pn_6 = 0/(3 + 1 + 2 + 1) = 0,0.
 \end{array}$$

Здесь  $P_1 = 3$ , так как всего имеется 3 разных пути из вершины  $X_1$ :  $\langle X_1, X_2, X_5 \rangle$ ,  $\langle X_1, X_2, X_6 \rangle$ ,  $\langle X_1, X_4, X_6 \rangle$ . В этом случае как раз видна опосредованная связь  $X_1$  с  $X_5$  и  $X_6$ : непосредственно дугами эти вершины не связаны, однако имеется связь через вершины  $X_2$  и  $X_4$ .

Таким образом, получаем вектор

$$PN = \langle 0,44, 0,14, 0,28, 0,14, 0, 0 \rangle.$$

Понятие или умение, имеющее наибольшую важность, должно в первую очередь включаться в содержание обучения. В нашем случае наибольший коэффициент важности имеет понятие  $X_1$ , так как из этой вершины исходит наибольшее число путей. Аналогично коэффициенты важности можно определить для любого модуля учебной дисциплины. Используя эти коэффициенты, можно поставить задачу оптимального формирования модулей учебных дисциплин, т.е. формирования модулей, одинаковых по сложности и с минимальными разрывами связей между модулями. В настоящей статье эта задача не рассматривается.

**Коэффициенты внешней важности модулей.** Все возможное содержание обучения будем представлять в виде графа

$$G = \langle X, U \rangle,$$

где  $X$  — множество модулей  $x(i) \in X$ . Каждый модуль  $x(i)$  включает в себя набор понятий и умений, которые должен освоить студент при изучении этого модуля, и характеризуется трудоемкостью  $t(i)$ , которая измеряется числом часов, отводимых на изучение данного модуля (сумма часов, отводимых на аудиторную и самостоятельную работу

студента при изучении этого модуля). Исходя из опыта, можно рекомендовать размер модуля  $t(i) = 34 \dots 36$  ч. Число понятий в таком модуле может изменяться от 20 до 40, а число умений — от 8 до 15. Набор понятий представляется в виде словаря (гlossария), а описание умений сопровождается описанием алгоритмов их реализации (5...8 этапов). С переходом на кредитную систему [2–6] один такой модуль соответствует одному кредиту (1 модуль = 1 кредит = 1 зачетная единица);  $U$  — множество дуг графа  $\langle x(i), x(j) \rangle$ , отражающих логическую связь между модулями (наличие такой дуги означает, что при изучении модуля  $x(j)$  используются понятия и умения модуля  $x(i)$ ). Для оценки степени такой связи вводится коэффициент  $P(i, j)$ , определяемый вышеизложенным способом. Набор таких коэффициентов запишем в виде матрицы смежности  $P = ||p(i, j)||$ . Если  $p(i, j) > 0$ , то логическая связь модуля  $x(i)$  с  $x(j)$  существует, а значение  $p(i, j)$  является оценкой важности этой связи. Предполагается, что множество модулей  $x(i) \in X$  разбито на множества  $X(k)$ , таких что

$$X = \bigcup_{k=1}^K X(k);$$

$$\forall k_1 \forall k_2 (X(k_1) \cap X(k_2) = \emptyset),$$

где  $X(k)$  — множество модулей  $x(i) \in X(k)$ , относящихся к  $k$ -й учебной дисциплине.

Предполагается также, что модули каждой дисциплины упорядочены в соответствии с логическими связями. Рассмотренное соотношение означает, что любой модуль принадлежит только одной дисциплине.

Пусть задан набор компетенций

$$КО = \langle ko(l) \rangle \quad l = 1, \dots, L,$$

где  $ko(l)$  —  $l$ -я компетенция рассматриваемого направления.

Для каждого модуля  $x(i) \in X$  и компетенции  $ko(l)$  задан коэффициент  $kp(i, l)$ , отражающий важность изучения модуля  $x(i)$  при формировании компетенции  $ko(l)$ . Таким образом, множество модулей связано с матрицей компетенций КР:

$$КР = ||kp(i, l)|| \quad i = 1, \dots, |X|, \quad l = 1, \dots, L.$$

Предполагается, что для каждой компетенции коэффициенты  $kp(i, l)$  нормированы:

$$\sum_{i=1}^{|X|} kp(i, l) = 1.$$

А коэффициент внешней значимости  $i$ -го модуля  $PV(i)$  опреде-

лится по формуле

$$PV(i) = \sum_{l=1}^L kp(i, l).$$

Таким образом, каждый модуль  $x(i)$  можно представить кортежем

$$Kx(i) = \langle t(i), z(i), PV(i), PN(i), mp(i), mu(i) \rangle,$$

где  $t(i)$  — трудоемкость модуля в часах;  $z(i)$  — число зачетных единиц;  $PV(i)$  и  $PN(i)$  — коэффициенты внешней и внутренней значимости;  $mp(i)$  и  $mu(i)$  — множество понятий и умений модуля.

**Математическая постановка задачи формирования оптимального учебного плана.** Допустимым планом будем называть множество  $Xs \subset X$  ( $Xs$  — подмножество множества  $X$ ), удовлетворяющее следующим соотношениям:

$$\forall i \forall j (x(i) \in Xs \wedge x(j) \in X \setminus Xs \Rightarrow P(j, i) = 0); \quad (1)$$

$$\sum_{i \in Xs} t(i) \leq T; \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} PV(i) \geq Uk, \quad I = \varepsilon\{i | x(i) \in Xs\}, \quad (3)$$

где  $T$  — общий ресурс времени, отводимый на обучение по заданному плану;  $Uk$  — минимально необходимый суммарный уровень компетенции.

Смысл ограничения (1) заключается в том, что включение модулей в учебный план возможно только в том случае, если при его изучении не используются знания или умения из модуля, не включенного в учебный план.

Оптимальным планом будем называть допустимый план, максимизирующий критерий  $Q$ :

$$Q = \sum_{i \in I} PV(i) \longrightarrow \max, \quad (4)$$

где  $I = \varepsilon\{i | x(i) \in Xs\}$ .

Содержательный смысл оптимального плана заключается в том, что набор модулей, включенных в учебный план, обеспечивает максимально возможный вклад в формирование нужных компетенций. Возможный метод решения этой задачи и задачи распределения модулей по семестрам можно найти в работе [7].

**Формирование исходных данных.** Исходные данные, представляющие собой матрицу коэффициентов внутренних (логических) связей, можно представить в виде табл. 1. Элементы под главной диагональю матрицы равны нулю. Это возможно после предварительной обработки графа содержания обучения, при которой оптимально удаляются контуры графа. В настоящей работе эта задача не рассматривается, но

Матрица коэффициентов логических связей модулей

Модуль	1	2	3	4	5
1	1	$PN(1,2)$	$PN(1,3)$	$PN(1,4)$	$PN(1,5)$
2	0	1	$PN(2,3)$	$PN(2,4)$	$PN(2,5)$
3	0	0	1	$PN(3,4)$	$PN(3,5)$
4	0	0	0	1	$PN(4,2)$
5	0	0	0	0	1

ее решение можно найти в работе [8]. Элементы матрицы  $PN(i, j)$  для  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $j = i + 1, i + 2, \dots, N$  могут определяться либо снизу-вверх, изложенным ранее методом при формировании модулей, либо сверху-вниз при наличии уже сформированных модулей методом экспертных оценок и дальнейшей обработке методом рангов, реализованным в работе [8].

Матрица результатов опроса экспертов для расчета коэффициентов  $PV(i)$ , отражающих важность изучения модуля  $x(i)$  при формировании компетенции  $l$ , представлена в виде табл. 2. При опросе экспертов оценка степени использования модуля оценивается значением ранга по следующим формулам:

$Pve(i, l) = 0$ , если модуль  $i$  не участвует в формировании компетенции  $l$ ;

$Pve(i, l) = 1$ , если модуль  $i$  имеет малое значение в формировании компетенции  $l$ ;

$Pve(i, l) = 2$ , если модуль  $i$  важен в формировании компетенции  $l$ ;

$Pve(i, l) = 3$ , если модуль  $i$  очень важен в формировании компетенции  $l$ .

Дальнейшая обработка экспертных карт и получение нормированных коэффициентов наиболее эффективным методом возможна с использованием данных работы [8].

Приведем возможный перечень компетенций [2–5].

1. Умеет работать в команде, создавать и руководить работой многопрофильных инновационных коллективов.

Таблица 2

Матрица результатов опроса экспертов промышленности

Модуль	Компетенции				
	1	2	3	4	5
1	$Pve(1,1)$	$Pve(1,2)$	$Pve(1,3)$	$Pve(1,4)$	$Pve(1,5)$
2	$Pve(2,1)$	$Pve(2,2)$	$Pve(2,3)$	$Pve(2,4)$	$Pve(2,5)$
3	$Pve(3,1)$	$Pve(3,2)$	$Pve(3,3)$	$Pve(3,4)$	$Pve(3,5)$
4	$Pve(4,1)$	$Pve(4,2)$	$Pve(4,3)$	$Pve(4,4)$	$Pve(4,5)$
5	$Pve(5,1)$	$Pve(5,2)$	$Pve(5,3)$	$Pve(5,4)$	$Pve(5,5)$
6	$Pve(6,1)$	$Pve(6,2)$	$Pve(6,3)$	$Pve(6,4)$	$Pve(6,5)$

2. Стремится к постоянному профессиональному и личностному росту в целях адаптации к быстро изменяющимся условиям инновационной экономики.

3. Умеет самостоятельно проводить научные исследования в области технологии продуктов питания из растительного и животного сырья и доводить результаты научно-технической деятельности до нового (усовершенствованного) продукта или технологии.

4. Владеет основами трансферта и коммерциализации современных знаний и технологий производства продуктов питания из растительного и животного сырья.

5. Обладает способностью к научно-исследовательской, проектной и менеджерской работе в научно-образовательных и инновационных центрах, занимающихся проблемами производства продуктов питания из растительного и животного сырья.

Приведенный перечень неполный и может быть расширен. Однако не следует значительно увеличивать число компетенций, так как это усложняет процедуру опроса экспертов. Исходя из практических соображений, можно рекомендовать число компетенций не более 10.

**Заключение.** Построение моделей содержания обучения является трудоемкой, но выполнимой и важной задачей, поскольку использование методов экспертных оценок, позволяет:

— сформировать оптимальное содержание модулей учебных дисциплин;

— сформировать оптимальный учебный план, ориентированный на содержание обучения, обеспечивающего максимизацию компетенций;

— научно обосновать содержание тестов проверки знаний студентов.

Однако достичь указанных результатов можно при условии функционирования автоматизированной системы управления процессом обучения, реализующей функции планирования, контроля (тестирования) и мониторинга содержания обучения. Подробное описание функций такой системы можно найти в работе [8].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б е р ж К. Теория графов и ее приложения. – М.: ИЛ, 1962. – 245 с.
2. Б а й д е н к о В. И. Выявление состава компетенций выпускников вузов как необходимый этап проектирования ГОС ВПО нового поколения: Методич. пособие. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2006. – 72 с.
3. Г а л я м и н а И. Г. Проектирование государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования нового поколения с использованием компетентного подхода // Материалы шестого заседания методологического семинара, 29 марта 2005 г. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2005. – 106 с.
4. К о р ш у н о в С. В. Подходы к проектированию образовательных стандартов в системе многоуровневого инженерного образования // Материалы шестого заседания методологического семинара, 29 марта 2005 г. – М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2005. – 88 с.



5. С а з о н о в Б. А. Расчет трудоемкости образовательных программ и учебной нагрузки студентов в зачетных единицах: Учеб.-методич. пособие. – М.: МГУПБ, 2007. – 26 с.
6. П о с т а н о в л е н и е Правительства Российской Федерации от 21 января 2005 г. № 36 “Об утверждении Правил разработки, утверждения и введения в действие государственных образовательных стандартов начального профессионального, среднего профессионального, высшего профессионального и послевузовского профессионального образования”.
7. Т р о ф и м о в а О. К., К а р п о в В. И. Оптимизация составления учебных планов вузов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия “Приборостроение”. – 1998. – № 2. – С. 109–114.
8. М ы ш е н к о в К. С., К а р п о в В. И., Г е т ь м а н В. В. Комплексная оценка качества и классификация многомерных объектов. Свид. об официальной регистрации программ для ЭВМ, № 200661336. Заявка № 2006613704 зарегистрирована 16 ноября 2006 г.
9. О т ч е т по теме № 75 “Разработка системы текущего и итогового контроля за формированием профессиональных знаний студентов”. – М.: МГУПП, 2007 г. – 97 с.

Статья поступила в редакцию 15.05.2008

Валерий Иванович Карпов родился в 1941 г. Д-р техн. наук, декан факультета “Информатика и управление” Московского государственного университета пищевых производств, заведующий кафедрой “Автоматизированные системы и вычислительная техника”. Автор более 130 научных работ в области информационных технологий в управлении производственными процессами и образованием.

V.I. Karpov (b. 1941) — D. Sc. (Eng.), dean of “Information Technology and Management” faculty, head of “Automated Systems and Computing Technology” department of the Moscow University for Food Production. Author of more than 130 publications in the field of information technologies in management of production processes and education.

Наталья Васильевна Лабутина родилась в 1952 г., д-р техн. наук, профессор кафедры “Технология хлебопекарного и макаронного производств”, проректор по учебно-методической работе Московского государственного университета пищевых производств. Автор 96 научных работ в области технологических систем хлебопекарного производства и проблем качества высшего образования.

N.V. Labutina (b. 1952) — D. Sc. (Eng.), professor of “Technology of Bread-Baking and Macaroni Foods Production” of the Moscow University for Food Production. Author of 96 publications in the field of technological systems of bread-baking production and problems of higher education quality.

Константин Сергеевич Мышенков родился в 1958 г. Д-р техн. наук, директор института информационных технологий и управления Московского государственного университета пищевых производств, профессор кафедры “Автоматизированные системы и вычислительная техника”. Автор более 80 научных работ в области применения информационных технологий в управлении производством и процессом обучения.

K.S. Myshenkov (b. 1958) — D. Sc. (Eng.), director of “Information Technology and Management” institute, professor of “Automated Systems and Computing Technology” department of the Moscow University for Food Production. Author of more than 80 publications in the field of application of information technologies in management of production and education processes.