

Формализованная модель учебного плана в задаче оптимизации индивидуальной образовательной траектории

11, ноябрь 2012

DOI: 10.7463/1112.0506173

Жажа Е. Ю., Николаев А. Б., Строганов Д. В., Трещеткина Е. Ю.,

Приходько Л. В.

УДК.519.24

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Россия, МАДГТУ (МАДИ)

str@bmstu.ru

e-jaja@mail.ru

ivanova_l_v@mail.ru

nikolaev.madi@mail.ru

news@dnsserv.ru

Введение

При формировании учебного плана всегда стоит задача анализа взаимосвязи дисциплин и их соответствия государственным требованиям. Для каждой дисциплины должен быть определен набор базовых дисциплин, из которых берутся основополагающие понятия и определения, необходимые для чтения дисциплины. Особенно актуальна проблема формализации учебного плана при реализации системы открытого обучения.

Предлагается увязка междисциплинарных связей путем введения модулей и термов (терминологических словарей). Обычно дисциплина включает несколько разнородных разделов, поэтому в дальнейшем будем использовать понятие модуля, как однородного, функционально законченного раздела дисциплины. Каждый модуль приписан к одной и только одной дисциплине.

Термом назовем некоторое понятие предметной области, имеющее собственную синтаксическую конструкцию. С каждым модулем связан набор входных и выходных термов. Каждый терм приписан к одному и только одному модулю. Входные термы - это понятия, необходимые для возможности чтения модуля. Они должны быть определены на более ранних этапах обучения. Это соответствие также является задачей анализа плана. Выходные термы - это понятия, которые вводятся при чтении соответствующего модуля, и которые могут использоваться в последующих модулях. В результате, модуль можно рассматривать как оператор преобразования входных термов в выходные.

При таком подходе взаимосвязь дисциплин может быть установлена за счет определения синонимии термов, т.е. установления ссылок входных термов на выходные. Входные термы могут иметь написание, отличное от выходного, на который он ссылается. В этом случае будем считать их синонимами.

1 Формальная модель связности дисциплин

По дисциплине в рамках различных отчетных документах определены различные аспекты, отражающие ее количественный и качественный характер. Назовем дисциплиной структуру:

$$\mathbf{D} = \{D_D, S_D, K_D, G_D, H_D, M_D\},$$

где D_D - название дисциплины; S_D - семестр; K_D - кафедра, ведущая дисциплину; G_D - направленность; H_D - объем часов; M_D - упорядоченный список модулей. Элементы S_D , K_D и G_D введены для реализации функций поиска.

Модулем будем называть структуру:

$$\mathbf{M} = \{D_M, A_M, H_M, F_D\},$$

где D_M - наименование модуля; A_M - аннотация модуля; H_M - объем часов; F_D - указатель дисциплины. Задачи анализа связности модулей полностью повторяют анализ связности дисциплин.

Терм-множеством назовем структуру:

$$\mathbf{W} = \mathbf{W}^I \cup \mathbf{W}^O,$$

где \mathbf{W}^I - множество входных термов; \mathbf{W}^O - множество выходных термов.

Входные термы $\mathbf{W}^I = \{D^I_w, F^I_M, F^I_w, U^I_w\}$, где D^I_w - идентификатор термина; F^I_M - указатель принадлежности модулю; F^I_w - ссылка на терм-источник; U^I_w - коэффициент усиления (определяет увеличение качества его понимания).

Выходные термы $\mathbf{W}^O = \{D^O_w, F^O_M, F^O_P, Z^O_w\}$, где D^O_w - идентификатор термина; F^O_M - указатель принадлежности модулю; F^O_P - ссылка на терм образовательного стандарта; Z^O_w - коэффициент забываемости термина, связанный с понятием сложности.

С термом связаны понятия «представление», «знание», «умение», «навык», «опыт». С одной стороны можно считать, что эти понятия порождают новые термы, с другой стороны, для них можно ввести определение уровня знаний. Теоретические разделы дисциплины дают в основном «представления» и «знания». Практические занятия, лабораторные работы, контрольные, проекты и другие виды обучения дают, в основном, «навыки», «умение», «опыт».

Модель связности термов определяется отношением:

$$W_{w1} \Rightarrow W_{w2} \sim \langle \text{терм } W_{w2} \text{ ссылается на терм } W_{w1} \rangle.$$

Каждому входному терму должен быть определен терм-источник:

$$\forall W_{w1} \in \mathbf{W}^I \exists ! W_{w2} \in \mathbf{W}^O : W_{w1} \Rightarrow W_{w2}. \quad (1)$$

Каждому выходному терму ставится в соответствие список входных, которые ссылаются на него (вторичные термы):

$$\forall W_w \in \mathbf{W}^O \exists \{W_{wi}\} : W_{wi} \in \mathbf{W}^I \wedge W_{wi} \Rightarrow W_w. \quad (2)$$

Термы источники и вторичные термы при ведении базы данных выводятся вместе с идентификаторами модуля (он единственный) и дисциплины (она единственная), что позволяет проводить визуальный контроль.

Отношение на множестве термов представляет собой двудольный граф:

- WO являются источниками для WI и задаются $WO \Rightarrow WI$;
- WO определяются в модуле на основании WI и определяются $WI \Rightarrow WO$.

Если во втором случае всегда выдержана синхронизация термов по времени, то в первом случае при ведении базы она может быть нарушена. Эта задача и задача анализа связности термов является базовой для анализа связности дисциплин.

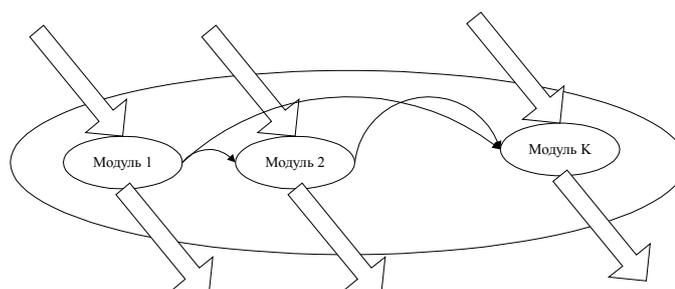
Из множества термов представляют интерес подмножества:

$$W^{OE} - W_{w}^{OE} \in W^{O-} : \neg \exists W_{wi}^I W_{w}^{OE} \Rightarrow W_{wi}^I \quad (3)$$

$$W^{IE} - W_{w}^{IE} \in W^{I-} : \neg \exists W_{wo}^O W_{wo}^O \Rightarrow W_{w}^{IE} \quad (4)$$

W^{OE} - подмножество висячих термов, которые в дальнейшем нигде не используются. Если это множество не пустое, то термам должны соответствовать термы образовательного стандарта.

W^{IE} - подмножество неопределенных термов, не имеющих ссылки на выходной.



\rightarrow - внутренняя связность; \Rightarrow - внешняя связность

Рисунок 1 – Связность модулей.

Связность модулей определяется на основании связности термов. Выбрав два произвольных модуля, можно пересчитать количество согласованных термов, т.е. выходных первого модуля, которые

используются во втором модуле. Чем больше таких термов, тем более сильно связаны модули. Интерпретация связности модулей приведена на рисунке 1. Для каждой дисциплины можно опередить меру ее внутренней и внешней связности как множество внутренних связей модулей по термам и внешним.

2 Модель забывания термов

Следующей задачей является анализ активности использования каждого терма. Чем чаще выходной терм используется в других модулях, тем более высок уровень его понимания. Введем понятие «функции забываемости» выходного терма W_w^O , которое слабоформализуемо и необходима его нечеткая интерпретация. Однако в качестве некоторого ее приближения можно взять детерминированную функцию.

Пусть ΔTS_i - продолжительность i -го семестра в неделях. Пусть $TW_{w,0}$ - момент определения выходного терма в некотором модуле M_m . Этот момент времени связывается с окончанием чтения модуля M_{m0} . Пусть $[TbW_{w,i}, TeW_{w,i}]$ - интервалы времени использования этого терма в других модулях, где $TbW_{w,i}$ - начало чтения модуля M_{mi} , а $TeW_{w,i}$ - конец чтения модуля M_{mi}

Пусть указанные модули включены в дисциплины D_{d0} и $D_{d,i}$, тогда

$$TbW_{w,i} = \sum_{k=1}^{s-1} \Delta T_k + \frac{\sum_{k=1}^{m-1} HM_k}{HD_k} \cdot \Delta TS_k \quad TeW_{w,i} = TbW_{w,i} + \frac{HM_k}{HD_k} \cdot \Delta TS_k.$$

Таким образом, каждому выходному терму в соответствие ставится таблица 1.

Построение функции забываемости основывается на учете подъемов активности терма в моменты окончания чтения модулей использующих заданный терм.

Таблица 1 – Соответствие выходных термов

	<i>Забываемость</i>	<i>Время определения</i>	
<выходной терм>	Z_{Ww}	$TbW_{w,0}$	
<i>Синонимы выходного терма</i>	<i>Усиление</i>	<i>Начало</i>	<i>Конец</i>
<входной терм 1>	$U_{Ww,1}$	$TbW_{w,1}$	$TeW_{w,1}$
<входной терм К>	$U_{Ww,K}$	$TbW_{w,K}$	$TeW_{w,K}$

До момента $TW_{w,0}$ терм не определен и его «функция забываемости» равна 0, с момента определения $TW_{w,0}$ функция принимает некоторое значение, определяемое содержанием модуля, и затем в соответствии с заданным «коэффициентом забываемости» Z_{Ww} падает по экспоненте. В моменты $TeW_{w,i}$ на основании связанного с термом коэффициента усиления $U_{Ww,i}$ функция имеет скачек вверх, после чего падает по экспоненте до следующего момента (Рис. 2).

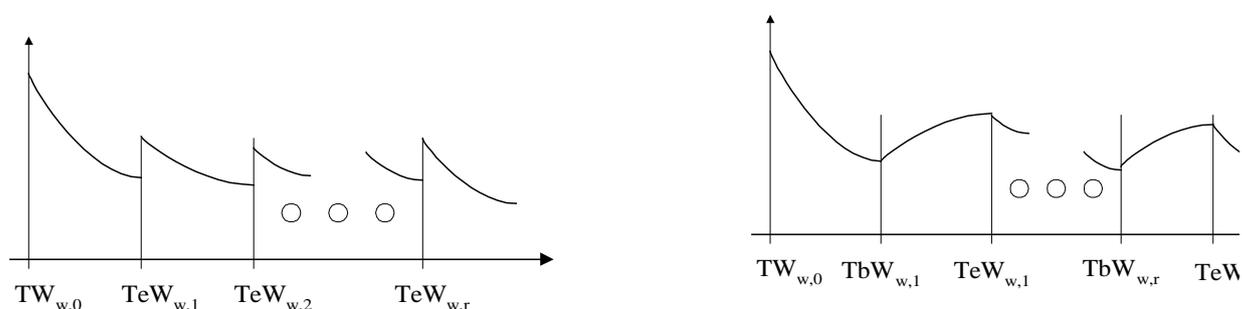


Рисунок 2 – Построение функции забываемости.

Для определения параметра экспоненты будем использовать интервал двойного уменьшения уровня знаний:

$$\begin{aligned}
 t = 0 &\Rightarrow f = 100 \\
 t = Z_w &\Rightarrow f = 50
 \end{aligned}
 \quad
 f = \exp(-ct)
 \quad
 \exp(-c \cdot Z_w) = 50 \Rightarrow c = -\frac{\ln 50}{Z_w}
 \quad (5)$$

$$\frac{100 - f_i}{100 - f_i^*} = U_{Ww,i} \Rightarrow f_i^* = 100 - \frac{100 - f_i}{U_{Ww,i}}
 \quad (6)$$

Для согласования термов в рамках одного семестра по пересекающимся во времени модулям желательно учитывать подъем не скачком, а на интервале чтения модуля. В этом случае функция будет иметь вид (рисунок 2). При этом необходима настройка активности межмодульного согласования использования термина и коррекция «функции забываемости». Одновременное использование термов в различных модулях приводит к необходимости введения преобразований активностей в результирующую на этом отрезке времени.

3 Программная поддержка оптимизации индивидуального учебного плана

Проведенный анализ и формализация структуры учебного плана делает целесообразным создание структуры базы данных в виде, представленном на рисунке 3.

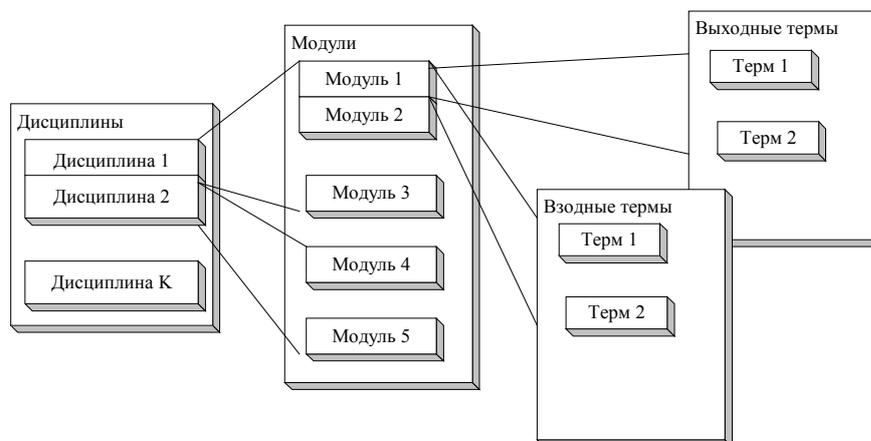


Рисунок 3 – Структура базы данных

Между таблицами определена связь ‘один к многим’:

- каждый терм принадлежит лишь единственному модулю

$$\forall W_w \in W \exists! m : W_w \in W_{Mm} \quad (7)$$

- каждый модуль принадлежит единственной дисциплине:

$$\forall M_m \exists! d : M_m \in M_{Dd} \quad (8)$$

С целью реализации поисковых операций и операций по редактированию базы введены операции над дисциплинами, модулями и термами.

Список операций над дисциплинами включает AddDis - добавить дисциплину в учебный план; CutDis - удалить дисциплину из учебного плана (дисциплина удаляется вместе со всеми включенными в нее модулями).

Операции над модулями: AddMod - добавить модуль в текущую дисциплину; CutMod - удалить модуль со всеми термами; PasteMod - вставить модуль в текущую дисциплину.

Операции над термами:

AddTermFromOut - добавить входной терм в текущий модуль из выходного с тем же именем и ссылкой;

AddTerm - добавить терм в текущий модуль без ссылок;

AddTermRefer - добавить ссылку текущего входного термина на выходной;

CutTerm - удалить терм из текущего модуля;

AddTermFromPasp - добавить выходной терм в текущий модуль редактирования из термина образовательного стандарта с тем же именем и ссылкой;

AddTerm - добавить терм в текущий модуль без ссылок;

AddTermRefer - добавить ссылку текущего выходного термина редактирования на терм образовательного стандарта;

CutTerm - удалить терм из текущего модуля.

Формализованное представление учебного плана можно рассматривать как модель генератора понятий в систему с памятью. В общем случае описание процессов изменения состояния может носить произвольный характер, поэтому в данном случае более предпочтительно использование имитационных моделей.

Критерием эффективности учебного плана формируются на основании функций воспроизведения всех термов, введенных в процессе обучения:

$$\forall i F_i(T) \rightarrow \max, \quad (9)$$

где $F_i(T)$ – значение функции научения i -го терма на конец обучения (момент времени T).

В общем случае эта задача многокритериальная. Кроме того, количество термов для каждой специализации достаточно велико. Таким образом, основной задачей при формировании интегрального критерия является свертка по группам классифицирующих признаков. Если говорить о направлениях, по которым можно сгруппировать дисциплины, то их обычно немного (например, для СОИУ математическое, информационное, программное, общесистемное и др.), в пределах 10. В рамках каждого направления можно присвоить весовые коэффициенты всем термам по их значимости, что приведет к линейной свертке. А по направлениям решение задачи предлагается реализовать стандартными методами многокритериальной оптимизации с выделением парето-множества и последующего использования численных методов с представлением информации ЛПР.

Заключение

Предложенный подход позволяет автоматически сгенерировать план, оптимальный по заданному направлению. Увязка дисциплин всех направлений может быть реализована лишь при воздействии ЛПР. Кроме того, следует отметить при такой постановке задачи оптимизации план, оптимальный для обучаемого одного уровня подготовленности и способностей может не быть оптимальным для другого. Это согласуется с реальным положением дел. Однако в рамках стандартных режимов

обучения, формирование индивидуального плана всегда сопряжено с организационными проблемами.

Таким образом, при организации обучения, имея полную БД методических материалов и тестовых заданий для всех дисциплин, при таком подходе имеется возможность не только сформировать индивидуальный план, но и его динамически корректировать по результатам тестового контроля.

Список литературы

1. Формализованное описание учебного плана / В.Ю. Строганов, О.Б. Рогова, Л.В. Иванова, Г.Г. Ягудаев // В мире научных открытий. Красноярск: НИЦ, 2011. № 9 (21). С. 16-28.
2. Модель генерации образовательной траектории / В.Ю. Строганов, М.И. Карташов, А.И. Ульянова, И.Ю. Свободин // Оптимизация решений в промышленности, строительстве и образовании: сб. науч. тр. МАДИ № 1/45. М.: МАДИ, 2010. С. 53-61.
3. Модели формирования ситуационных сетей управления / Г.Г. Ягудаев, Л.В. Иванова, Д.В. Строганов, Е.К. Павлова // Модели и методы управления сложными техническими системами: сб. науч. тр. МАДИ. – М.: МАДИ, 2010. – С. 74-79.
4. Логинова Ю.Н. Понятия индивидуального образовательного маршрута и индивидуальной образовательной траектории и проблема их проектирования // Библиотека журнала «Методист». 2006. № 9. С. 4-7.
5. Бессолицына Р., Ходырев А. Индивидуальный учебный план: проектирование, выбор, организация обучения // Директор школы. 2009. № 4. С. 58-63.

Formalized curriculum model for optimization of individual learning paths

11, November 2012

DOI: [10.7463/1112.0506173](https://doi.org/10.7463/1112.0506173)

Jaja E.Yu., Nikolaev A.B., Stroganov D.V., Treschetkina E.Yu.,
Prihod'ko L.V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

Russia, State Technical University – MADI

str@bmstu.ru

e-jaja@mail.ru

ivanova_l_v@mail.ru

nikolaev.madi@mail.ru

news@dnsserv.ru

The authors solve the problem of constructing a formal model of curriculum and structuring requirements for the minimum specialist training. They propose keeping a terminological glossary that provides the basis for determining performance criteria of developed curricula. Algorithms for calculating the function of forgetting terms are given in the article. The authors consider evaluation of connectivity of disciplines and optimization of the sequence of modules in order to maximize the values of learning functions in all terms. Operations on disciplines, modules and terms for implementation of search operations and editing base operations are listed.

Publications with keywords: [curriculum](#), [individual path](#), [term](#), [forgetting function](#), [the function of learning](#)

Publications with words: [curriculum](#), [individual path](#), [term](#), [forgetting function](#), [the function of learning](#)

References

1. Stroganov V.Iu., Rogova O.B., Ivanova L.V., Iagudaev G.G. Formalizovannoe opisaniye uchebnogo plana [The formalized description of the curriculum]. *V mire nauchnykh otkrytii* [In the world of scientific discoveries]. Krasnoiarsk, NITs Publ., 2011, no. 9 (21), pp. 16-28.

2. Stroganov V.Iu., Kartashov M.I., Ul'ianova A.I., Svobodin V.Iu. Model' generatsii obrazovatel'noi traektorii [Model of generation of the educational trajectory]. *Optimizatsiia reshenii v promyshlennosti, stroitel'stve i obrazovanii: sb. nauch. tr. MADI no. 1/45* [Optimization of solutions in industry, construction and education: a collection of scientific works of MADI No. 1/45], 2010, pp. 53-61.

3. Iagudaev G.G., Ivanova L.V., Stroganov D.V., Pavlova E.K. Modeli formirovaniia situatsionnykh setei upravleniia [Model for the formation of situational networks of management]. *Modeli i metody upravleniia slozhnymi tekhnicheskimi sistemami: sb. nauch. tr. MADI* [Models and methods of management of complex technical systems: a collection of scientific works of MADI], 2010, pp. 74-79.

4. Loginova Iu.N. Poniatiia individual'nogo obrazovatel'nogo marshruta i individual'noi obrazovatel'noi traektorii i problema ikh proektirovaniia [The concepts of individual educational route and individual educational trajectory and the problem of their design]. *Biblioteka zhurnala «Metodist»* [Library of the journal «Methodologist»], 2006, no. 9, pp. 4-7.

5. Bessolitsyna R., Khodyrev A. Individual'nyi uchebnyi plan: proektirovanie, vybor, organizatsiia obucheniia [Individual curriculum: design, selection, and training]. *Direktor shkoly* [Director of the school], 2009, no. 4, pp. 58-63.