
ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К АВТОМАТИЗАЦИИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СОСТАВЛЕНИЯ ПРОГРАММ ОБУЧЕНИЯ

В.П. Офицеров¹, М.В. Офицеров²,
О.А. Бочарова¹

¹Кафедра прикладной информатики в управлении
Московский городской педагогический университет
2-й Тульский переулок, 4, Москва, Россия, 115191

²Лаборатория системного мониторинга и проектирования образования
Московский городской педагогический университет
2-й Сельскохозяйственный проезд, 4, Москва, Россия, 129226

В статье формализуется задача формирования программы подготовки обучающихся на основе подбора предметов и определения их трудоемкости с целью максимизации компетенций по выбранному направлению обучения. Разработан метод автоматизированного решения полученной задачи с использованием информатизации процесса получения экспертных оценок. Полученный результат может использоваться в распределенной информационной системе вуза для автоматизированного составления эффективных программ обучения.

Ключевые слова: максимизация компетенций по направлению обучения, метод и алгоритм решения, формирование программы подготовки, автоматизация и информатизация процессов составления программ обучения.

Современные образовательные стандарты предусматривают значительную степень свободы в выборе предметов преподавания и выборе трудоемкости их изучения. При этом в стандартах задаются ограничения суммарной трудоемкости предметов для всей программы, ограничения трудоемкости на циклы дисциплин в программе, ограничения на базовую и вариативную части дисциплин, ограничивается общее количество изучаемых предметов. Похожие требования формулируются при формировании практически любой образовательной программы, направленной на повышение квалификации или переподготовку. При этом, как правило, ставится задача выбора набора предметов и их трудоемкости так, чтобы обучающийся максимизировал компетенции, на формирование которых направлена программа обучения.

В данной статье делается попытка формализовать и решить задачу выбора предметов и определения их трудоемкости с целью максимизации компетенций по заданному направлению подготовки.

Предлагается следующая схема формализации и постановки задачи. Эксперты (ученые, преподаватели и специалисты) по направлению подготовки создают посредством телекоммуникаций (Интернет, электронная почта, телеконференции) распределенную экспертную группу. Эта группа, работая в телекоммуникационном режиме, разрабатывает коэффициенты c_{ki} вклада единичной трудоемкости предмета i в компетентность k . Эти коэффициенты могут принимать любые значения в диапазоне от 0 (зависимости нет) до 1 (максимальная зависимость изменения компетенции от изменения трудоемкости предмета).

Будем считать, что значение функции измерения показателя любой компетентности выражается в виде линейной функции суммы произведений трудоемко-

стей изучаемых предметов на коэффициенты c_{ki} . Здесь индекс k соответствует номеру компетентности в перенумерованном списке компетенций ($k = 1, \dots, K$), учитываемых в формируемой программе обучения, индекс i соответствует номеру предмета в перенумерованном списке предметов, претендующих на включение в программу обучения ($i = 1, \dots, N$).

Пусть выделено K компетенций, на формирование и повышение уровня которых рассчитана проектируемая программа обучения. Пусть имеется N предметов, изучение которых повышает те или иные компетенции заявленные в программе. Каждый из N предметов может быть включен в программу обучения, но реально обучение должно проводиться не более чем по D предметам, где $D \leq N$.

Так как в образовательных стандартах используется понятие цикла дисциплин, содержащего несколько обязательных для изучения предметов и несколько предметов по выбору вуза, а также задаются ограничения как на трудоемкости циклов дисциплин, так и на трудоемкости отдельных предметов в цикле, целесообразно ввести двойную индексацию для каждой дисциплины: первый индекс будет указывать номер предмета в общем перечне дисциплин, а второй индекс — номер цикла, к которому принадлежит дисциплина. Заметим, что первый индекс однозначно определяет предмет, второй индекс понадобится только для привязки предмета к определенному циклу дисциплин и учета ограничений на трудоемкости циклов дисциплин, поэтому он не всегда будет использоваться.

Предмет будет характеризоваться переменной x_{ij} , значение которой будет соответствовать выделяемой на изучение предмета трудоемкости, индекс i будет соответствовать номеру предмета в общем списке предметов ($i \in \{1, \dots, N\}$), индекс j будет соответствовать номеру цикла дисциплин, в который входит i -й предмет ($j \in \{1, \dots, M\}$). Так как в цикл входит несколько дисциплин, будем считать, что для j -го цикла дисциплин номера входящих в него предметов изменяются последовательно ($i_j, i_j + 1, i_j + 2, \dots, i_j + m_j$). Здесь величина i_j соответствует номеру предмета, входящего в цикл j первым, величина $i_j + 1$ соответствует номеру предмета, входящему в цикл j вторым, и так далее. Величина $m_j + 1$ соответствует количеству предметов в цикле j . Таким образом, для однозначной идентификации предмета можно использовать индексы i ($i = 1, \dots, N$) и индексы относительно цикла j : $i_j, i_j + 1, i_j + 2, \dots, i_j + m_j$.

В соответствии с введенной формализацией рассмотрим функции — компоненты векторного критерия эффективности программы обучения. В качестве первой компоненты вектора рассмотрим функцию f_1 подсчета показателя первой компетентности из перенумерованного списка компетентностей проектируемой программы обучения. Определим значение этой функции в зависимости от выделения трудоемкостей на изучение предметов — претендентов на включение в программу обучения.

$$\begin{aligned}
 f_1 = & (c_{11}x_{11} + c_{12}x_{21} + \dots + c_{1_{i_1+m_1}}x_{i_1+m_1, 1}) + (c_{1_{i_2}}x_{i_2, 2} + c_{1_{i_2+1}}x_{i_2+1, 2} + \dots + \\
 & + c_{1_{i_2+m_2}}x_{i_2+m_2, 2}) + \dots + (c_{1_{i_j}}x_{i_j, j} + \dots + c_{1_{i_j+m_j}}x_{i_j+m_j, j}) + \dots + \\
 & + (c_{1_{i_N}}x_{i_N, N} + c_{1_{i_N+1}}x_{i_N+1, N} + \dots + c_{1_N}x_{NM}).
 \end{aligned} \tag{1}$$

В (1) $(c_{11}x_{11} + c_{12}x_{21} + \dots + c_{1_{i_1+m_1}}x_{i_1+m_1 1})$ — показывает вклад в значение показателя первой компетентности трудоемкостей x_{n1} ($n = 1, \dots, m_1 + 1$) изучения предметов первого цикла дисциплин, значение индекса $x_{i_1+m_1}$ совпадает с последним по номеру предметом из первого цикла дисциплин (в этом выражении индекс i_1 совпадает с номером первого предмета из первого цикла дисциплин, т.е. $i_1 = 1$, а число $m_1 + 1$ равно количеству предметов — претендентов на включение в первый цикл обучения); $(c_{1_{i_2}}x_{i_2 2} + c_{1_{i_2+1}}x_{i_2+1 2} + \dots + c_{1_{i_2+m_2}}x_{i_2+m_2 2})$ — показывает вклад в значение показателя первой компетентности трудоемкостей x_{n2} ($n = i_2, i_2 + 1, \dots, i_2 + m_2$) изучения предметов второго цикла дисциплин, значение индекса i_2 совпадает с номером первого предмета в общем пронумерованном списке всех дисциплин для второго цикла дисциплин, т.е. $i_2 = 1 + m_1 + 1$, значение индекса $i_2 + m_2$ — совпадает с номером последнего предмета второго цикла дисциплин и т.д.; c_{1n} — коэффициент вклада единичного изменения трудоемкости предмета n ($n = 1, \dots, N$) в значение показателя эффективности обучения для первой по списку компетентности. Например, изменение трудоемкости по изучению иностранного языка явно не будет приводить к увеличению компетентности в проектировании архитектуры предприятия. Если компетентность «проектирование архитектуры предприятия» в списке рассматриваемых компетенций имеет номер $k = 1$, а дисциплина «Иностранный язык» в списке дисциплин имеет номер $n = 1$, то $c_{11} = 0$. Если дисциплина «Проектирование информационных систем» в общем списке дисциплин имеет номер $n = 7$, то для первой компетенции «проектирование архитектуры предприятия» можно задать $c_{17} = 1$ и так далее.

Аналогично можно построить функции для остальных показателей компетентности ($k = 2, \dots, K$):

$$\begin{aligned}
 f_2 &= [(c_{21}x_{11} + c_{22}x_{21} + \dots + c_{2_{i_1+m_1}}x_{i_1+m_1 1}) + \\
 &+ (c_{2_{i_2}}x_{i_2 2} + c_{2_{i_2+1}}x_{i_2+1 2} + \dots + c_{2_{i_2+m_2}}x_{i_2+m_2 2}) + \dots + \\
 &+ (c_{2_{i_j}}x_{i_j j} + \dots + c_{2_{i_j+m_j}}x_{i_j+m_j j}) + \dots + \\
 &+ (c_{2_{i_N}}x_{i_N N} + c_{2_{i_N+1 N}}x_{i_N+1 N} + \dots + c_{2_N}x_{NM})], \\
 &\dots\dots\dots \\
 f_k &= [(c_{k1}x_{11} + c_{k2}x_{21} + \dots + c_{k_{i_1+m_1}}x_{i_1+m_1 1}) + \\
 &+ (c_{k_{i_2}}x_{i_2 2} + c_{k_{i_2+1}}x_{i_2+1 2} + \dots + c_{k_{i_2+m_2}}x_{i_2+m_2 2}) + \dots + \\
 &+ (c_{k_{i_j}}x_{i_j j} + \dots + c_{k_{i_j+m_j}}x_{i_j+m_j j}) + \dots + \\
 &+ (c_{k_{i_N}}x_{i_N N} + c_{k_{i_N+1 N}}x_{i_N+1 N} + \dots + c_{kN}x_{NM})], \\
 &\dots\dots\dots \\
 f_K &= (c_{K1}x_{11} + c_{K2}x_{21} + \dots + c_{K_{i_1+m_1}}x_{i_1+m_1 1} + \\
 &+ c_{K_{i_2}}x_{i_2 2} + c_{K_{i_2+1}}x_{i_2+1 2} + \dots + c_{K_{i_2+m_2}}x_{i_2+m_2 2} + \dots + \\
 &+ c_{K_{i_j+m_j}}x_{i_j+m_j j} + \dots + c_{KN}x_{NM}). \tag{2}
 \end{aligned}$$

Используя идею динамического программирования [2], будем рассматривать множество задач типа (5)—(11) при всевозможных значениях b ($0 \leq b \leq B$), b_r ($0 \leq b_r \leq B_r$) и $1 \leq d \leq D$. Тогда при $d = 1$ решается задача поиска только одного предмета из N возможных, который обеспечивал бы максимальное значение функции критерия качества обучения (5) при всевозможных допустимых значениях b , b_r ($r = 1, \dots, R$). Математически это можно записать так:

$$F_1(b, b_1, \dots, b_m) = \max c_i x_i, \quad (12)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} b_{\min i} \leq x_i \leq b_{\max i}, \quad i = 1, \dots, N, \\ \sum_{n=ij}^{ij+mj} x_{nj} \leq b_{\max j}, \quad j = 1, \dots, M, \\ a_{ri} x_i \leq b_r, \quad r = 1, \dots, R, \end{aligned} \quad (13)$$

где $F_1(b, b_1, \dots, b_m)$ вычисляется для всех возможных значений $0 \leq b \leq B$, $0 \leq b_r \leq B_r$. На практике трудоемкость b и значения ресурсов b_r принимают конечные множества значений.

При $d = 2$ решается задача формирования гипотетической программы обучения только из двух предметов. При этом для одного предмета эта задача уже решена при всех допустимых значениях ресурсов. Выражение, которое бы обеспечивало максимальное значение функции критерия эффективности обучения (5) для всех $0 \leq b \leq B$ с учетом ограничений (7)—(9) имеет вид

$$\begin{aligned} F_2(b, b_1, \dots, b_m) = \max_{\substack{0 \leq \Delta b \leq b \\ 0 \leq \Delta b_r \leq b_r \\ r = 1, \dots, R}} \max_{\substack{1 \leq i \leq N \\ 0 \leq x_i \leq \Delta b \\ b_{\min i} \leq x_i \leq b_{\max i} \\ \sum_{n=ij}^{ij+mj} x_{nj} \leq b_{\max j} \\ a_{ri} x_i \leq \Delta b_r \\ r = 1, \dots, R}} [c_i x_i + F_1(b - \Delta b, b_1, -\Delta b_1, \dots, b_m - \Delta b_m)]. \end{aligned} \quad (14)$$

Так как в (12) $F_1(b, b_1, \dots, b_m)$ было вычислено для всех возможных $0 \leq x_i \leq \Delta b$ с учетом всех ограничений, (14) можно переписать так:

$$\begin{aligned} F_2(b, b_1, \dots, b_m) = \max_{\substack{0 \leq \Delta b \leq b \\ 0 \leq \Delta b_r \leq b_r \\ r = 1, \dots, R}} [F_1(\Delta b, \Delta b_1, \dots, \Delta b_m) + F_1(b - \Delta b, b_1, -\Delta b_1, \dots, b_m - \Delta b_m)] \end{aligned} \quad (15)$$

при выполнении ограничений

$$\begin{aligned} b_{\min i} \leq x_i \leq b_{\max i}, \quad i = 1, \dots, N \\ \sum_{n=ij}^{ij+mj} x_{nj} \leq b_{\max j}, \quad j = 1, \dots, M. \\ a_{ri} x_i \leq \Delta b_r, \quad r = 1, \dots, R. \end{aligned} \quad (16)$$

Для удобства вычислений доопределим F_1 таким образом: будем считать, что если $\Delta b \geq b_{\max i}$, то

$$F_1(\Delta b, \dots, \Delta b_m) = F_1(b_{\max i}, \Delta b_1, \dots, \Delta b_m), \quad (17)$$

если $b - \Delta b \geq b_{\max i}$, то

$$F_1(b - \Delta b, b_1, -\Delta b_1, \dots, b_m - \Delta b_m) = F_1(b_{\max i}, b_1, -\Delta b_1, \dots, b_m - \Delta b_m).$$

Кроме этого, когда $F_1(\Delta b, \Delta b_1, \dots, \Delta b_m)$ и $F_1(b - \Delta b, b_1, -\Delta b_1, \dots, b_m - \Delta b_m)$ в (15) рассматриваются при включении в программу обучения одного и того же предмета i с выделением ему частей трудоемкости в каждом из слагаемых, то, если суммарная трудоемкость этих частей больше $b_{\max i}$, то $F_2(b, b_1, \dots, b_m)$ будем определять через $F_1(b_{\max i}, b_1, \dots, b_m)$:

$$F_2(b, b_1, \dots, b_m) = F_1(b_{\max i}, b_1, \dots, b_m). \quad (18)$$

Выполнение ограничений (16)—(18) предполагает, что если значение $F_2(b, b_1, \dots, b_m)$ увеличилось, то это произошло за счет добавления в программу второго предмета, не совпадающего с первым. Приведенную выше проверку и переопределение функции (18) можно обобщить на произвольный шаг $d = 2, \dots, D$:

$$F_d(b, b_1, \dots, b_m) = F_{d-1}(b_{\max i}, b_1, \dots, b_m). \quad (19)$$

Если $F_1(\Delta b, \Delta b_1, \dots, \Delta b_m)$ и $F_{d-1}(b - \Delta b, b_1, -\Delta b_1, \dots, b_m - \Delta b_m)$ рассматриваются при включении в программу обучения одного и того же предмета i с выделением ему частей трудоемкости в каждом из слагаемых, и, если суммарная трудоемкость этих частей больше $b_{\max i}$.

Продолжая процесс, получим рекуррентное соотношение

$$F_d(b, b_1, \dots, b_m) = \max \left[F_1(\Delta b, \Delta b_1, \dots, \Delta b_m) + F_{d-1}(b - \Delta b, b_1, -\Delta b_1, \dots, b_m - \Delta b_m) \right] \quad (20)$$

$$\begin{aligned} 0 \leq \Delta b \leq b \\ 0 \leq \Delta b_r \leq b_r \\ r = 1, \dots, R \end{aligned}$$

при выполнении ограничений (16)—(19) для всех $0 \leq b \leq B$, $0 \leq b_r \leq B_r$, $d = 2, \dots, D$, $r = 1, \dots, R$.

Поскольку изменения ресурсов дискретны и конечны, в вычислительном отношении задача сводится к перебору последовательно увеличивающихся значений ресурсов при выполнении всех ограничений и поиске на каждом новом наборе значений ресурсов возможности ввода в программу обучения еще одного предмета и увеличения за счет этого целевой функции значения обобщенной компетентности.

Повышение вычислительной эффективности здесь происходит за счет того, что на каждом шаге, на каждом сочетании ресурсов используется уже найденное максимальное значение функции эффективности на меньшем числе переменных для допустимых значений ресурсов. Некоторые дополнительные вычисления по сравнению с [1] приходится выполнять при изменении трудоемкости b , Δb

и проверки на совпадение номера предмета, претендента на включение в программу, с $d - 1$ номерами предметов уже включенных в программу на предыдущих $d - 1$ шагах и дающих значение $F_{d-1}(b - \Delta b, b_1, -\Delta b_1, \dots, b_m - \Delta b_m)$ при вычислениях по (20). Если номер i встречается и в левой и в правой части (20), то необходимо проверять выполнение ограничений $x_i \leq b_{\max i}$ и использовать, при необходимости, формулу (19), либо исключать вариант при невыполнении условия ограничения трудоемкости цикла дисциплин $\sum_{n=ij}^{ij+mj} x_{nj} \leq b_{\max j}$.

Следует отметить, что если убрать ограничения (9), т.е. в качестве ресурса оставить одну трудоемкость, то можно предложить упрощенный эвристический алгоритм решения задачи. Упорядочим и перенумеруем все предметы в порядке уменьшения значения коэффициентов c_i . Из свойств линейных операций следует, что максимальный вклад в значение критерия F даст предмет под номером 1 с максимальным коэффициентом $c_1 \geq c_i$ ($i = 2, \dots, N$) и максимальной трудоемкостью (при выполнении ограничений (7)—(8)). Затем предмет с номером 2 с максимальной трудоемкостью (при выполнении ограничений (7)—(8)). И так далее.

В случае невыполнения ограничения (8) для вновь добавляемого предмета будем уменьшать его трудоемкость до выполнения (8) или до нижней допустимой границы трудоемкости по предмету. Если при уменьшении трудоемкости будет достигнута минимально допустимая для предмета граница, то выбираем предшествующий предмет в цикле дисциплин и начинаем уменьшать его трудоемкость и так до выполнения ограничения (8). Используя этот подход, можно выполнить ограничения по трудоемкости и количеству предметов в программе обучения, получив при этом оптимальный или близкий к оптимальному результат.

В статье формализуется задача формирования программы подготовки обучающихся на основе подбора предметов и определения их трудоемкости с целью максимизации компетенций по выбранному направлению обучения. Разработан математический метод и алгоритм решения полученной задачи. Компьютерная реализация предложенного подхода позволит автоматизировать процесс составления программ обучения и создать специализированную удаленную информационную среду преподавателя для автоматизированного составления эффективных и обоснованных учебных программ. Таким образом, процесс составления программ обучения будет интегрирован в общий процесс информатизации образования и добавит в него новое качество с точки зрения автоматизированного составления эффективных программ обучения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Офицеров В.П., Судзиловский Н.Б.* Об одном типе задач линейного программирования и их решении // Известия АН СССР «Техническая кибернетика». — 1981. — № 6. — С. 14—17.
- [2] *Беллман Р., Дрейфус С.М.* Прикладные задачи динамического программирования. — М.: Наука, 1965.

- [3] Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Линейное программирование. — М.: Наука, 1969.
[4] Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи и методы линейного программирования: Конечные методы. — М.: URSS, 2010.
[5] Струченков В.И. Методы оптимизации в прикладных задачах. — М.: СОЛОН-Пресс, 2009.

ABOUT ONE APPROACH TO AUTOMATION AND INFORMATION OF THE PROCESS OF DRAWING UP OF TRAINING PROGRAMS

**V.P. Ofitserov¹, M.V. Ofitserov²,
O.A. Bocharova¹**

¹Department of applied Informatics in management
Moscow city Pedagogical University
2-nd Tula Lane, 4, Moscow, Russia, 115191

²Laboratory of system monitoring and education design
Moscow city pedagogical university
2nd Selskokhozyaystvenny str., 4, Moscow, Russia, 129226

In article the problem of formation of the program of preparation of subjects trained on the basis of selection and definition of their labor input for the purpose of maximization competences in the chosen direction of training is formalized. The method of the automated decision of the received problem with use of information of process of reception of expert estimations is developed. The received result can be used in the distributed information system of HIGH SCHOOL for the automated drawing up of effective programs of training.

Key words: maximization competences in a training direction, a method and algorithm of the decision, formation of the program of preparation, automation and information of processes of drawing up of programs of training.