

УДК 004.02:378

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПЛАНА

О. Л. Курилова,
старший преподаватель
Ульяновский государственный университет

Представлен алгоритм оптимизации учебного плана в рамках компетентностного подхода. Разработан алгоритм построения матрицы смежности дисциплин, алгоритм ориентированного графа дисциплин, алгоритм нахождения самого длинного пути в графе. Продемонстрировано применение генетического алгоритма к многокритериальной задаче оптимизации учебного плана.

Ключевые слова — компетенции, учебный план, ориентированный граф, генетический алгоритм, методы оптимизации.

Введение

Компетентностный подход является на данный момент одним из основных направлений обновления содержания образования [1]. Понятие «компетенции» и их содержания разные исследователи определяют по-разному [1–5], но все они согласны с тем, что профессиональные компетенции в том или ином виде включают знания, умения, навыки и профессиональные качества личности.

Все множество изучаемых студентом дисциплин содержит в себе определенное количество компетенций, которые в явном виде не связаны между собой, а порядок изучения дисциплины (т. е. порядок усвоения компетенций) определяется кафедрами вуза при составлении рабочего учебного плана. Порядок следования дисциплин нередко назначают интуитивно, основываясь на опыте прошлых лет преподавания, и часто новые дисциплины без должной обработки занимают случайные места. Отследить связи между компетенциями, определенными Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (ФГОС ВПО), без должного их анализа очень сложно ввиду индивидуальностей специалистов, формирующих содержание дисциплины и подготавливающих соответствующие учебники. В связи с изложенным разработка подхода к освоению компетенций на множестве изучаемых дисциплин с учетом их следования и «нарастания» объема связанных компетенций от начального до конечного этапов учебного процесса представляется важной и актуальной.

Взаимосвязи и формальное описание компетенций и дисциплин

Взаимосвязь компетенций и дисциплин фиксируется в учебном плане и указывает на то, что составляющие компетенций являются продуктом изучения дисциплины. На рис. 1 представлена взаимосвязь элементов компетенций и дисциплин на примере дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация информационных технологий».

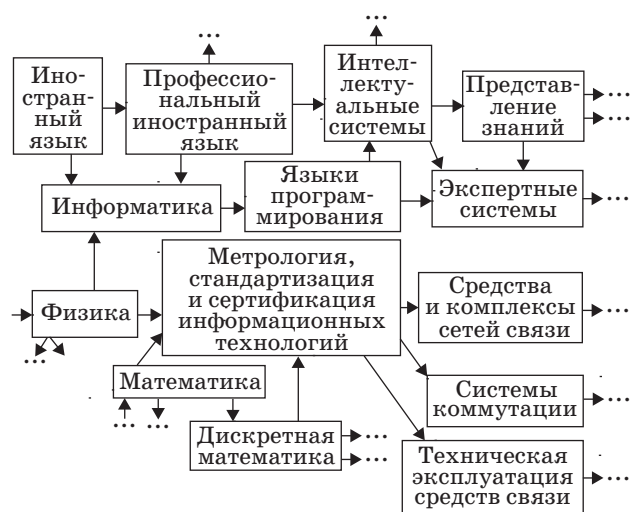
Взаимосвязь дисциплин прослеживается на основе входящих и исходящих компетенций. На рис. 2 показан фрагмент ориентированного графа, на котором для каждой дисциплины отображены предшествующие и следующие за ней дисциплины.

Требуется построить такой рабочий учебный план для формирования необходимых компетенций, который был бы эффективным и обеспечивал качественную подготовку выпускников вуза.

Исследование существующих учебных планов по различным специальностям показало, что распределение дисциплин по семестрам не является оптимальным и не всегда учитывает существующие взаимосвязи. Здесь под оптимальным учебным планом понимается такое распределение дисциплин по семестрам, в котором совокупность дисциплин удовлетворяет требованиям ФГОС ВПО, а именно определенному количеству часов, экзаменов, зачетов. При этом дисциплины должны быть связаны друг с другом элементами входящих и исходящих компетенций, причем нагруз-



■ Рис. 1. Взаимосвязь компетенций и дисциплин: ПК — профессиональная компетенция



■ Рис. 2. Фрагмент ориентированного графа взаимосвязи дисциплин на примере специальности «Информационные системы и технологии»

ка в семестрах должна быть распределена равномерно. Например, предметы «Основы теории управления», «Управление проектами», «Управление данными» изучаются одновременно во втором семестре второго курса, хотя логичнее было бы вначале изучить первый предмет, например в первом семестре, затем третий предмет во вто-

ром семестре, а второй предмет можно было бы изучить уже на третьем курсе.

Для оптимизации и построения учебных планов предлагается описание дисциплин и взаимосвязей между ними в следующем виде:

имеется множество дисциплин $D = \{D_1, D_2, \dots, D_m\}$, каждый элемент множества D содержит подмножество компетенций: $D_j = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$, $j = 1 \dots m$, где $K_i = \{Th_i, Pr_i, C_i\}$ — компетенция i , $i = 1 \dots n$, где Th_i — множество элементов теоретического знания; Pr_i — множество практических навыков; C_i — множество профессиональных качеств личности;

$D_j = \{Out_{D_j}, Inp_{D_j}\}$ — дисциплина, где $Out_{D_j} = \{Th_{Oj}, Pr_{Oj}\}$ — множество теоретических и практических элементов знания, формируемых в процессе изучения дисциплины; $Inp_{D_j} = \{Th_{Ij}, Pr_{Ij}\}$ — множество теоретических и практических элементов знания, необходимых для усвоения дисциплины.

Составляющими компетенций являются знания, умения и навыки $K_i = \{Th_i, Pr_i, C_i\}$. Например, для ПК-26, описанной в ФГОС ВПО [6], как готовность использовать математические методы обработки, анализа и синтеза результатов профессиональных исследований, характерны следующие компоненты:

ПК-26 = {знание основ теории вероятности и математической статистики; знание классических методов решения нелинейных методов уравнений; знание структуры погрешностей решения вычислительных задач; знание различных методов решения систем уравнений и т. д.}

Каждая дисциплина D_i связана с дисциплиной D_j из множества D . Имеется множество связей $S = \{S_1, S_2\}$, через которые отыскиваются наиболее близкие друг другу дисциплины, где связь S_1 связывает дисциплины через знания, а S_2 — через умения и навыки.

Связь между D_j и K_i существует, если $Th_{Oj} \cap Th_i \neq \emptyset$, или $Th_{Ij} \cap Th_i \neq \emptyset$, или $Pr_{Oj} \cap Pr_i \neq \emptyset$, или $Pr_{Ij} \cap Pr_i \neq \emptyset$.

Связь между D_j и D_y определяется следующим образом:

если $Inp_{D_y} \cap Out_{D_j} \neq \emptyset$ и $Inp_{D_j} \cap Out_{D_y} = \emptyset$, то D_j предшествует D_y (и наоборот);

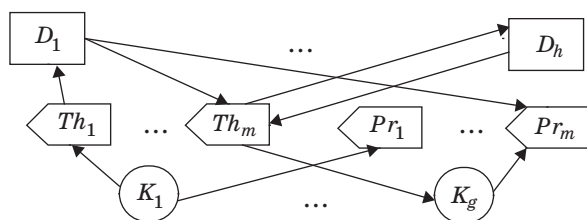
если $Inp_{D_y} \cap Out_{D_j} \neq \emptyset$ и $Inp_{D_j} \cap Out_{D_y} \neq \emptyset$, то D_j изучается в одном семестре с D_y ;

если $Inp_{D_y} \cap Out_{D_j} = \emptyset$ и $Inp_{D_j} \cap Out_{D_y} = \emptyset$, то D_j не связаны с D_y .

Аналогично можно определить взаимосвязь компетенции и дисциплины.

Для более наглядного представления взаимосвязей дисциплин используем ориентированный граф.

Граф компетенций, элементов компетенций и дисциплин представлен на рис. 3. Связи в та-



■ **Рис. 3.** Граф взаимосвязи дисциплин и компетенций через элементы компетенций

ком графе формируются на основе изучения учебных планов и экспертных знаний преподавателей и специалистов.

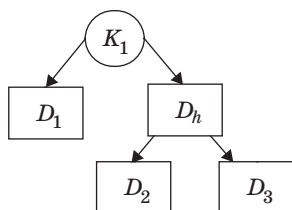
Если учитывать только связи между дисциплинами, то на рис. 4 показано, что граф преобразуется в дерево (без учета циклических связей между сильно связанными дисциплинами, которые изучаются параллельно), позволяющее понять, из каких дисциплин формируются отдельные компетенции.

Учебный план вуза для каждой специальности составляется на основе Типового положения об образовательном учреждении высшего профессионального образования [7] и ФГОС ВПО [6] для каждого направления подготовки. Например, для специальности 230400 «Информационные системы и технологии» (квалификация «бакалавр») используется ФГОС ВПО [6]: на стр. 2 указано количество часов и количество семестров, на стр. 7–14 определены названия дисциплин. Максимальное количество зачетов и экзаменов определено в п. 46 Положения [7].

Опишем формально эти требования. Каждую дисциплину можно представить в следующем виде:

$D_j = \{Name_j, Out_j, Inp_j, H_j, E_j, Z_j\}$, где $Name_j$ — имя дисциплины; Out_j, Inp_j — множества входящих и исходящих элементов знания; H_j — количество часов; E_j, Z_j — вид итогового контроля. Если $E(D_j) = 1$ и $Z(D_j) = 0$ — экзамен, $E(D_j) = 0$ и $Z(D_j) = 1$ — зачет. Тогда условия, накладываемые на дисциплины в семестре, выглядят следующим образом:

$$\sum_j^b H(D_j) \leq R; \quad (1)$$



■ **Рис. 4.** Дерево формирования компетенции через изучение дисциплин

$$\sum_j^b E(D_j) \leq F; \quad (2)$$

$$\sum_j^b Z(D_j) \leq T; \quad (3)$$

$$\sum_j^b (E(D_j) + Z(D_j)) \leq P, \quad (4)$$

где b — количество дисциплин, распределенных в семестре; R, F, T — соответственно количество часов, экзаменов и зачетов, допустимых в семестре; P — количество итоговых контрольных мероприятий, допустимых в семестре.

Алгоритм оптимизации учебного плана

К описанным дисциплинам можно применить методы оптимизации. Задача многокритериальной оптимизации заключается в том, что необходимо распределить последовательно дисциплины по семестрам с учетом определенных условий.

Существует целый класс оптимизационных методов. Условно все оптимизационные методы можно разделить на методы, использующие понятие производной (градиентные методы), стохастические методы, эвристические, эволюционные и прочие. При большом количестве параметров оптимизационные методы требуют больших временных ресурсов. Для задачи оптимизации учебного процесса пространство решений будет составлять $P = n!$, где P — мощность пространства поиска, а n — количество дисциплин. Поэтому предлагается использовать генетический алгоритм (ГА), который является одним из распространенных и наиболее употребляемых эволюционных методов.

Генетические алгоритмы — это процедуры поиска, основанные на механизмах естественного отбора и наследования. В них используется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей. Они отличаются от традиционных методов оптимизации несколькими базовыми элементами [8]:

- обрабатывают закодированную форму параметров задачи;
- осуществляют поиск решения, исходя из некоторого множества точек пространства возможных решений;
- используют целевую функцию;
- применяют вероятностные правила отбора.

В работе [9] показано применение ГА для оптимизации расписания, где в качестве критерия оптимизации использована система штрафов за недостатки в расписании групп и преподавателей.

В докладе [10] рассматривается последовательность дисциплин на основе ориентированно-

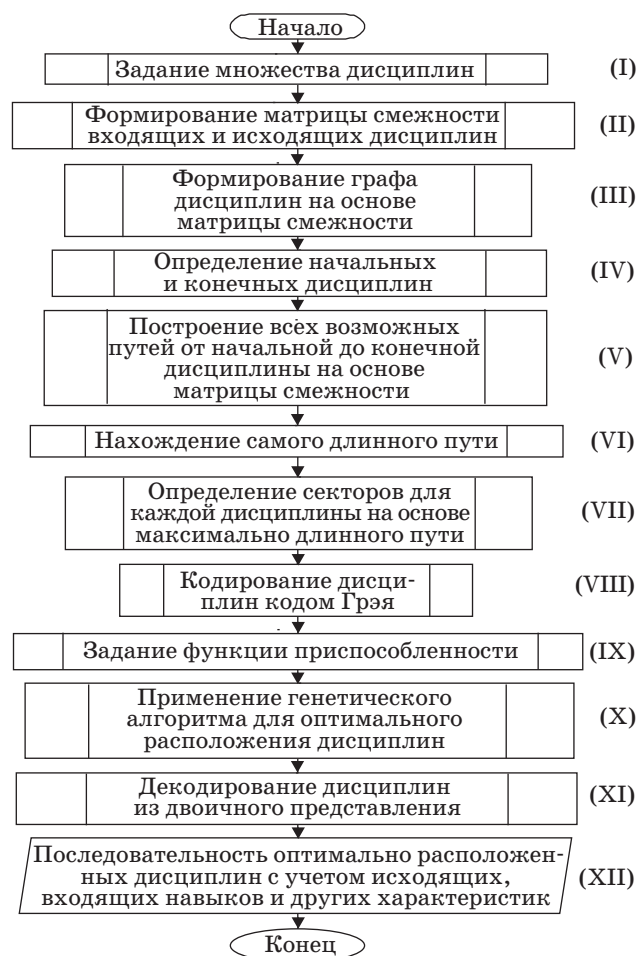
го графа, где определенным образом ранжируется каждая вершина, оценивается вес всего графа, и в результате целевая функция показывает относительное различие между оптимальным и текущим распределением дисциплин в учебном плане. Связь между дисциплинами определяется на основе экспертных заключений. В отличие от работ [9, 10], в данной статье описывается алгоритм автоматизированного построения ориентированного графа дисциплин на основе входящих и исходящих элементов компетенций, а также оптимизация учебного плана на основе целевой функции, удовлетворяющей определенным условиям (1)–(5).

Предлагаемый метод оптимизации учебного плана на основе формализованного компетентного подхода можно представить в виде алгоритма. Суть метода состоит в формировании ориентированного графа, отображающего своими вершинами множество дисциплин и связей между ними (через множество компетенций), в котором отыскиваются самые длинные пути, включающие упорядоченный список дисциплин, которые обеспечивают преемственность компетенций от предыдущих дисциплин и передачу их последующим дисциплинам по цепочке пути (от начальных до конечных вершин графа). Далее путь на графе расщепляется на фрагменты вершин в виде секторов, причем количество секторов совпадает с количеством семестров, а количество вершин в секторе совпадает с количеством дисциплин в семестре. Вводится процедура перераспределения дисциплин по всему графу. С этой целью используется целевая функция приспособленности конкретной особи (набора всех дисциплин) в популяции особей (наборе учебных планов), которая выражается удовлетворением атрибутов дисциплин требованиям (1)–(5). В качестве атрибутов дисциплин выступают количество часов, количество экзаменов, зачетов и принадлежность дисциплин определенному семестру.

Функцию приспособленности используем для оценки каждого учебного плана, после этого осуществляем сравнения значений этой функции и выбор максимального из них. Выбранный по максимальному значению функции приспособленности учебный план считается оптимальным. На рис. 5 представлен алгоритм, реализующий построение оптимального плана.

Опишем некоторые пункты этого алгоритма более подробно.

(II) Матрица смежности, назовем ее A , — это квадратная матрица размера $nd \times nd$ (nd — количество дисциплин), заполняется единицами и нулями по следующему алгоритму: если исходящий элемент компетенций для i -й дисциплины равен входящему элементу компетенций для j -й

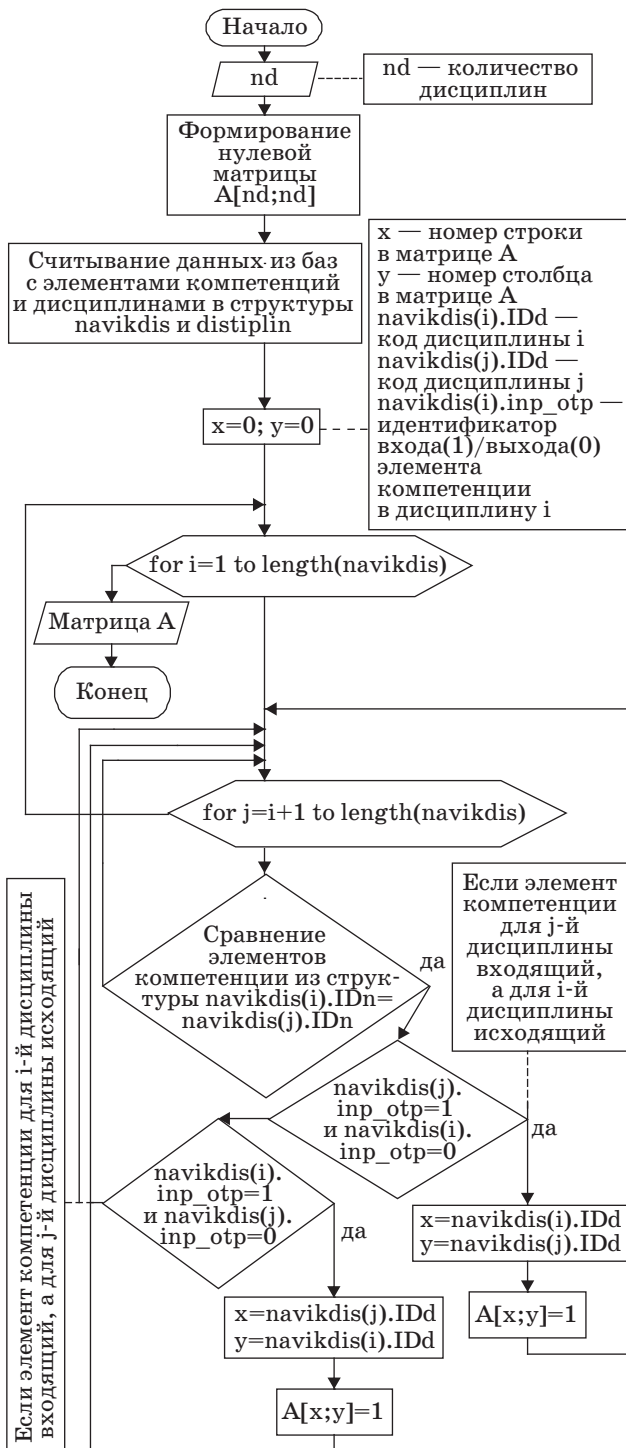


■ Рис. 5. Алгоритм оптимизации учебного процесса

дисциплины, то $a[i, j] = 1$, в противном случае $a[i, j] = 0$. Алгоритм формирования матрицы смежности представлен на рис. 6. Матрица смежности необходима для формирования ориентированного графа дисциплин.

(III) Элементы матрицы смежности A являются вершинами ориентированного графа, который строится по следующему правилу: если $a[i, j] = 1$, то в ориентированном графе имеется ребро, соединяющее вершины i и j , поэтому i -я дисциплина является входящей для j -й дисциплины, т. е. дисциплина i должна быть изучена до дисциплины j ; если $a[i, j] = 0$, то в ориентированном графе ребра нет.

(IV) При формировании учебного плана учитывается изначальный набор компетенций, с которыми учащийся пришел в вуз, например, те, которые получил в школе или колледже, поэтому при задании множества дисциплин на шаге (I) такие элементы компетенций будут помечены как начальные элементы компетенций. Считаем, что начальные дисциплины — это дисциплины, у которых количество входящих начальных эле-



■ Рис. 6. Алгоритм формирования матрицы смежности

ментов компетенций минимально. Конечные дисциплины — это дисциплины, у которых количество исходящих элементов компетенций минимально. Признаком начальной дисциплины является минимальное количество единиц в матрице смежности в столбце, соответствующем данной

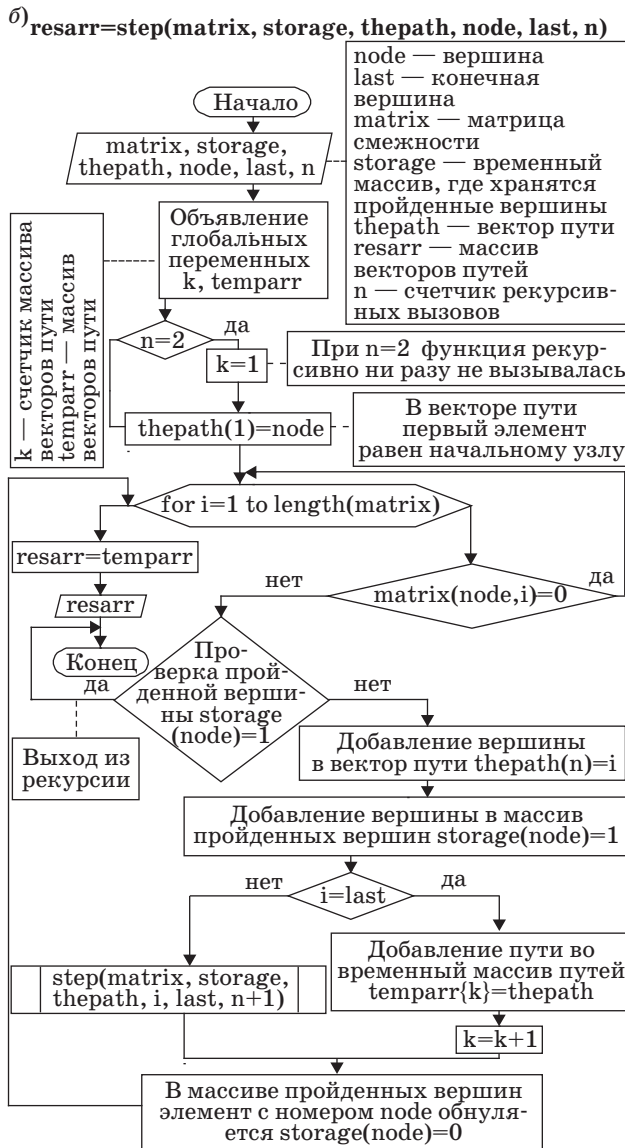
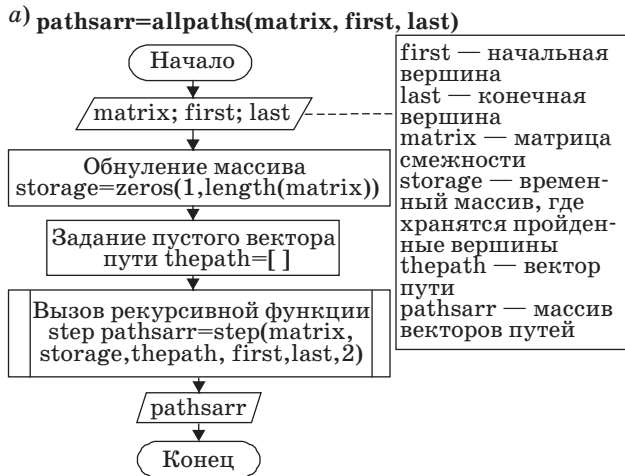
дисциплины. Признаком конечной дисциплины является минимальное количество единиц в матрице смежности в строке, соответствующей данной дисциплине. Определение начальных и конечных дисциплин необходимо, чтобы между ними построить пути в ориентированном графе.

(V) Алгоритм построения представлен на рис. 7, а. Анализируются элементы матрицы смежности $a[i; j]$ и выбираются те, где $a[i; j] = 1$. Затем анализируется j -я строка и выбирается новый элемент в этой строке, где $a[j; k] = 1$. Процесс последовательной выборки единичных элементов образует путь. Далее по этой процедуре происходит полный перебор всех единичных элементов матрицы смежности и построение остальных путей с использованием рекурсии. Рекурсивный алгоритм представлен на рис. 7, б.

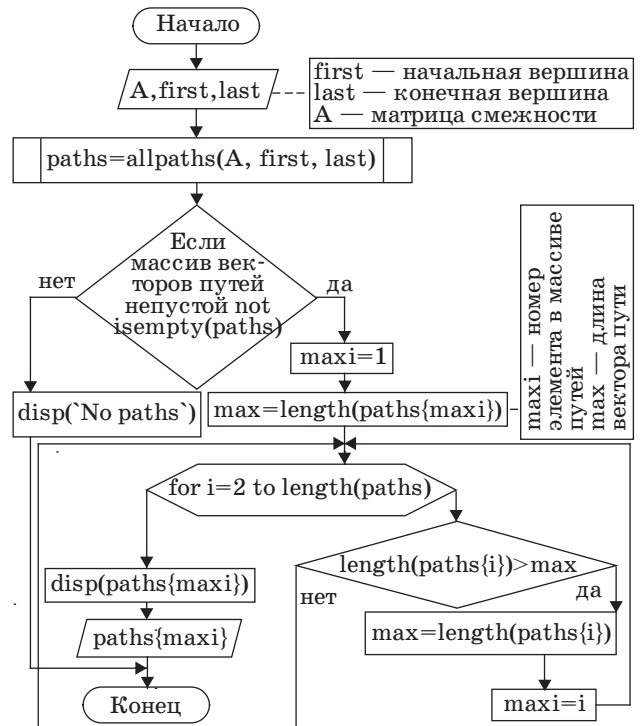
(VI) Из множества всех полученных путей выбирается путь с наибольшим количеством вершин. Алгоритм нахождения самого длинного пути в графе представлен на рис. 8. Самый длинный путь необходим для обеспечения полноты рекомендуемого стандартом дисциплин в учебном плане.

Существуют различные алгоритмы для работы с графами. Например, алгоритмы Джонсона и Дейкстры применяются для работы с ориентированным, взвешенным графом, где связи между вершинами закреплены постоянно и имеют вес, — эти алгоритмы находят кратчайшее расстояние в графе. В предлагаемых алгоритмах на основе матрицы смежности строится ориентированный, не взвешенный граф, а затем находится самый длинный путь. Элементы компетенций являются входящими и исходящими для дисциплин. Они могут изменяться, и именно на их основе строится матрица смежности, использующая в качестве исходных параметров наличие связей между дисциплинами. Поэтому предпочтение было отдано описанным выше алгоритмам.

(VII) Определение секторов для каждой дисциплины j на основе максимально длинного пути. Этот пункт необходим для предварительного распределения дисциплин по семестрам. Окончательное распределение дисциплин по семестрам происходит после применения ГА (X) и получения последовательности всех дисциплин. Поэтому полученный ориентированный граф надо разбить на секторы. Сектор — это интервал в пути графа, которому принадлежат дисциплины, причем каждый сектор имеет номер. Пусть длина самого длинного пути в графе (количество узлов в графе) L . Нумеруем каждый узел и для каждого узла длиной цепочки определяем сектор. Длина сектора вычисляется по формуле $\left\lfloor \frac{L}{C} \right\rfloor$. Например, если длина сектора 5, то узлы с 1-го по 5-й номер располагаются в первом секторе, а узлы с номе-



■ Рис. 7. Алгоритм нахождения всех путей в графе с использованием рекурсивной функции: а — между начальной и конечной вершинами; б — между двумя вершинами



■ Рис. 8. Алгоритм нахождения самого длинного пути в графе между двумя вершинами на основе матрицы смежности

ра 6 по 10 расположены во втором секторе и т. д. Узлы, не входящие в выбранную цепочку, могут располагаться в нескольких секторах. Каждому узлу графа надо сопоставить сектор i или интервал секторов $[S_{\min_j}; S_{\max_j}]$, где S_{\min_j} — номер j -го узла с входной связью; S_{\max_j} — номер j -го узла с выходной связью. К критериям оптимизации (1)–(4) добавляется еще один, который определяет номер сектора для каждой дисциплины:

$$\left| \frac{S_{\min_j} + 1}{\frac{L}{C}} \right| \leq i \leq \left| \frac{S_{\max_j} + 1}{\frac{L}{C}} \right|, \quad (5)$$

где C — количество семестров; i — номер сектора.

(VIII) Прежде чем применять ГА, необходимо закодировать дисциплины. В классическом ГА применяется двоичное кодирование. Предлагается использовать код Грэя как наиболее простой и эффективный способ кодирования.

(IX) Функция приспособленности позволяет оценить степень приспособленности конкретной особи в популяции (конечное множество особей) и выбрать из них наиболее приспособленные в соответствии с эволюционным признаком выживаемости «сильнейших». При использовании ГА в задачах оптимизации функция приспособлен-

ности максимизируется, поэтому называется целевой функцией [8].

Критерием оптимального учебного плана служит целевая функция, выраженная посредством функции приспособленности:

$$F_{\Pi} = N_s \sum_{k=1}^4 ball_k + \sum_{j=1}^{N_d \cdot N_s} ball_j \rightarrow \max,$$

где

$$ball_1 = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_j^{N_d} H(D_j) \leq R \\ 0, & \text{если } \sum_j^{N_d} H(D_j) > R \end{cases}; \quad (6)$$

$$ball_2 = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_j^{N_d} E(D_j) \leq F \\ 0, & \text{если } \sum_j^{N_d} E(D_j) > F \end{cases}; \quad (7)$$

$$ball_3 = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_j^{N_d} Z(D_j) \leq T \\ 0, & \text{если } \sum_j^{N_d} Z(D_j) > T \end{cases}; \quad (8)$$

$$ball_4 = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_j^{N_d} (E(D_j) + Z(D_j)) \leq P \\ 0, & \text{если } \sum_j^{N_d} (E(D_j) + Z(D_j)) > P \end{cases}; \quad (9)$$

$$ball_j = \begin{cases} 1, & \text{если } \left| \frac{S_{\min_j} + 1}{\frac{L}{C}} \right| \leq i \leq \left| \frac{S_{\max_j} + 1}{\frac{L}{C}} \right| \\ 0, & \text{если } i < \left| \frac{S_{\min_j} + 1}{\frac{L}{C}} \right|; i > \left| \frac{S_{\max_j} + 1}{\frac{L}{C}} \right| \end{cases}. \quad (10)$$

Единицей измерения целевой функции являются баллы, принимающие значения 1 или 0, причем значения $ball_1, ball_2, ball_3, ball_4$ накапливаются в целевой функции при соблюдении условий (6)–(9) для каждого семестра, а значения $ball_j$ — при соблюдении условий (10) для каждой дисциплины. Область значений целевой функции $[0; N_s \cdot 4 + N_d \cdot N_s]$, где N_s — количество семестров, N_d — количество дисциплин в семестре. Целевая функция достигает максимума при выполнении условий (6)–(10), которым удовлетворяют дисциплины, входящие в учебный план (особь). Выходным параметром функции приспособленности является числовое значение, характерное для каждой особи (набора дисциплин).

Оптимальным считается учебный план, для которого достигнуто максимальное значение целевой функции.

Алгоритм функции приспособленности или целевой функции представлен на рис. 9.

В этом алгоритме учитываются многосеменные дисциплины, т. е. дисциплины, количество часов которых превышает максимально допустимое число часов для дисциплин в семестре.

(X) В результате применения ГА некоторые дисциплины в учебном плане (особи) иногда повторяются, поэтому требуется устранить эту избыточность и заменить другими, которые не вошли в формируемый учебный план. Эту задачу можно решить во время работы ГА после операций скрещивания и мутации или после завершения работы ГА.

(XII) В результате применения данного метода формируется последовательность оптимально расположенных дисциплин с учетом исходящих и входящих элементов компетенций и других характеристик.

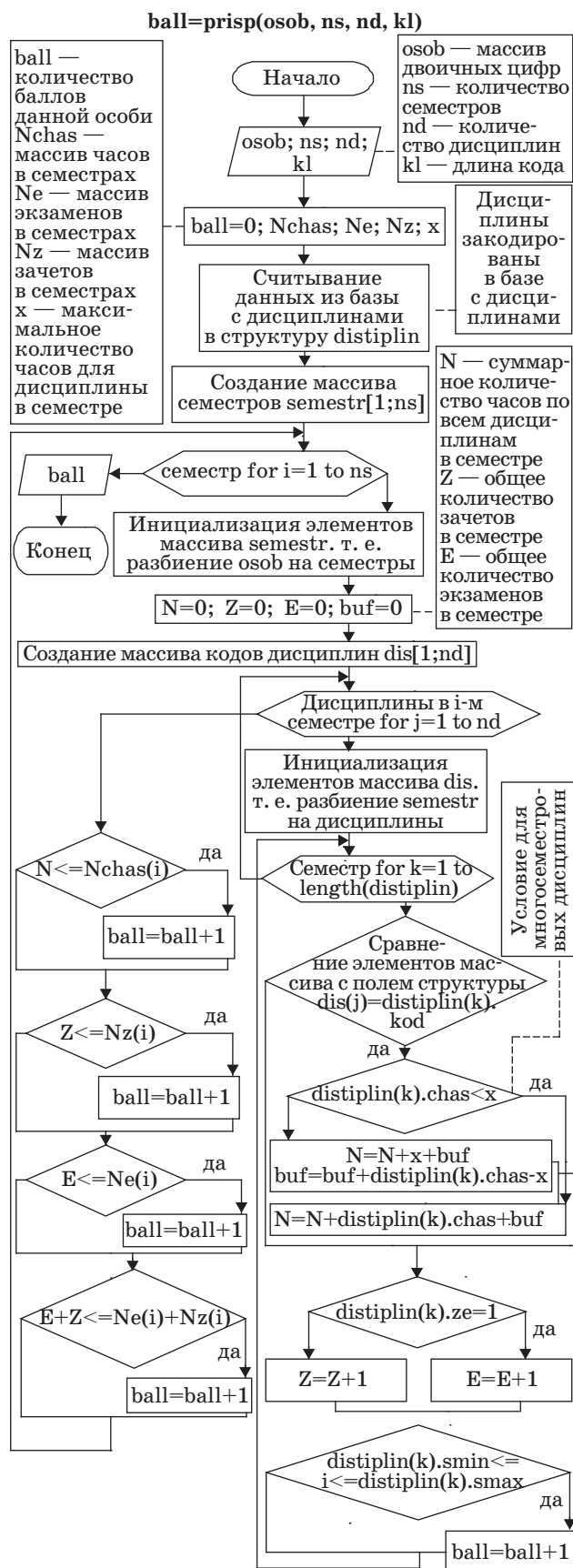
Апробация описанного метода была проведена с использованием программных инструментов MatLab [11, 12] для специальности 230400 «Информационные системы и технологии» (квалификация «бакалавр»).

При проведении экспериментов по оптимизации целевой функции были использованы следующие параметры: число дисциплин — 64, количество бит для кодирования одной дисциплины — 6 (поэтому число переменных в особи насчитывало $64 \cdot 6 = 384$), число семестров — 8, число особей — 60, число поколений — 100.

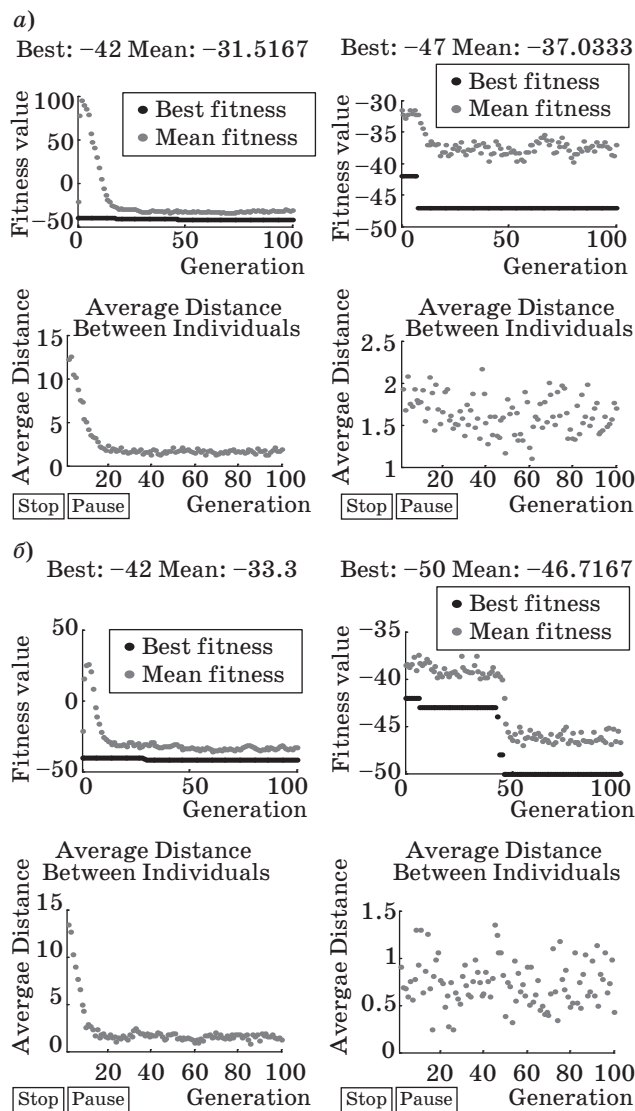
В эксперименте 1 использовались следующие операторы ГА: равномерный кроссовер с вероятностью 0,8, одноточечная мутация, пропорциональный отбор. На рис. 10, а, слева, показаны наилучшие значение функции и расстояние между популяциями. Так как модуль по применению ГА *Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox* в MatLab решает только задачи минимизации, для нахождения максимума целевой функции используется результат функции приспособленности, только со знаком минус.

Поскольку ГА является стохастическим, т. е. производятся случайные выборки, в результате применения ГА каждый раз получаются разные результаты и строится новая популяция, но чтобы достичь лучших результатов, можно в качестве исходной популяции использовать результаты для конечной популяции из предыдущих расчетов. После проведения этой операции значение целевой функции увеличилось (рис. 10, а, справа).

Далее был проведен эксперимент 2. Использовались следующие операторы ГА: двухточечный



■ Рис. 9. Алгоритм функции приспособленности



■ Рис. 10. Результаты применения ГА после эксперимента 1 (а) и 2 (б)

кроссовер, одноточечная мутация, турнирный отбор. Значение целевой функции снова увеличилось (рис. 10, б).

После проведения ряда экспериментов был получен оптимальный учебный план.

Заключение

Предлагаемый метод позволяет:

- выявить несогласованность в последовательности формирования дисциплин в учебном плане;
- сформировать последовательность с учетом исходящих и входящих элементов компетенций и других характеристик;
- визуально представить все связи между дисциплинами на основе ориентированного графа дисциплин;

- оценить готовые учебные программы на полноту охвата компетенций;
- автоматизированно построить оптимальный учебный план.

Этот метод оптимизации учебного процесса рекомендуется применять в высших, средних, среднеспециальных учебных учреждениях, на курсах подготовки и переподготовки специалистов.

Литература

1. **О Концепции** модернизации российского образования на период до 2010 года: Приказ № 393 от 11.02.02 / МО Российской Федерации. <http://elementy.ru/Library9/pr393.htm> (дата обращения: 25.02.2013).
2. **Лайл М. Спенсер, Сайн М. Спенсер.** Компетенции at work. Модели максимальной эффективности работы. — М.: НИРО, 2005. — 372 с.
3. **Уиддет С., Холфорд С.** Руководство по компетенциям. — М.: ГИППО, 2008. — 228 с.
4. **Морозова Г. Б.** Психологическое сопровождение организации и персонала. — М.: Речь, 2006. — 400 с.
5. **Курилова О. Л., Смагин А. А., Липатова С. В.** Методы оценки компетенций выпускника вуза // Уч. зап. Ульяновского государственного университета. Сер. Математика и информационные технологии. 2012. Вып. 1(4). С. 246–257.
6. **Федеральный** государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 230400 «Информационные системы и технологии» (квалификация (степень) «бакалавр»). http://www.edu.ru/db-mon/mo/Data/d_10/prm25-1.pdf (дата обращения: 25.02.2013).
7. **Типовое** положение об образовательном учреждении высшего профессионального образования (высшем учебном заведении): утв. постановлением Правительства РФ от 14 февраля 2008 г. № 71. <http://www.fgosvpo.ru/uploadfiles/npo/20110419090913.pdf> (дата обращения: 25.02.2013).
8. **Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.** Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. — М.: Горячая линия-Телеком, 2006. — 454 с.
9. **Яндыбаева Н. В.** Генетический алгоритм в задаче оптимизации учебного расписания вуза // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 11 С. 97–98. http://www.rae.ru/snt/?section=content&op=show_article&article_id=5657 (дата обращения: 06.03.2013).
10. **Дроздов Н. А.** Оптимизация учебных планов // Информационные технологии в образовании (ИТО-ЧЕРНОЗЕМЬЕ): Междунар. науч.-практ. конф., 2008 г. <http://ito.edu.ru/2008/Kursk/V/V-0-5.html> (дата обращения: 06.03.2013).
11. **Кривилев А.** Основы компьютерной математики с использованием системы MATLAB. — М.: Лекс-Книга, 2005. — 485 с.
12. **Панченко Т. В.** Генетические алгоритмы. — Астрахань: Астраханский университет, 2007. — 87 с.