

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ УЧЕБНОГО ПЛАНА В РАМКАХ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А. А. Власенко, А. И. Шашкин

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 15.02.2014 г.

**Аннотация.** В статье рассматриваются подходы к формированию учебного плана, в максимальной степени учитывающего образовательные интересы обучающегося и требования рынка труда.

**Ключевые слова:** компетенция, коэффициент согласованности, модель учебного плана, задача о покрытии.

**Annotation.** This paper discusses approaches to creating learning plan and maximally takes into account interests of the student and requirements of the future job.

**Keywords:** competence, coefficient of consistency, learning plan model, covering problem.

### ВВЕДЕНИЕ

Активное внедрение информационных технологий во все сферы человеческой деятельности создает основу для разработки современных форм подготовки высокопрофессиональных квалифицированных кадров в рамках дистанционного обучения, под которым понимаются «образовательные технологии, реализуемые в основном с применением информационно-телекоммуникационных сетей при опосредованном (на расстоянии) взаимодействии обучающихся и педагогических работников» [1]. Дистанционное обучение может активно использоваться не только в рамках общей образовательной программы высшего профессионального образования, но и для получения дополнительного образования. Данная форма в настоящее время широко применяется ведущими мировыми компаниями (Microsoft, Cisco и др.). В 2011 г. корпорация Intel выступила с инициативой – дать пользователям необходимый набор знаний и навыков работы с современными параллельными и мобильными технологиями Intel. В сотрудничестве с российскими уни-

верситетами разработана сертификационная программа подготовки профессиональных программистов – специалистов в области параллельного программирования и программирования для мобильных устройств с использованием инструментов Intel. Особенностью подготовки специалистов в сфере IT-технологий является то, что образовательный контент очень быстро меняется, поэтому знания, которые имеются на данный момент, с неизбежностью устаревают. Современные IT-специалисты для сохранения высокой квалификации должны постоянно обновлять и пополнять свои знания.

Поскольку дистанционное образование, благодаря информационным технологиям, становится доступным для заинтересованных лиц с различной степенью квалификации и подготовки, то актуальной задачей является проектирование индивидуального учебного плана, обеспечивающего освоение образовательной программы на основе индивидуализации ее содержания с учетом особенностей и образовательных потребностей конкретного обучающегося. Алгоритм проектирования реализован в рамках адаптивной системы дистанционного обучения.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБСУЖДЕНИЕ ПОДХОДОВ К ЕЕ РЕШЕНИЮ

В общем случае под адаптивностью понимается свойство системы, характеризующее ее способность изменяться под текущее состояние внешней среды или входных параметров [2]. Данное понятие подразумевает, что система адаптивного дистанционного обучения изменяет свое состояние при работе с конкретным обучающимся. Адаптивность должна проявляться на всех уровнях организации учебного процесса, причем, если индивидуальный подход к обучаемому зависит от уровня его подготовленности, то требования к качеству знаний на выходе должны быть едиными для всех. Индивидуализация предполагает наличие индивидуальной образовательной траектории у каждого обучающегося. Цель адаптивной системы дистанционного образования состоит в разработке такой образовательной траектории каждого обучающегося, которая позволит обеспечить высокий уровень качества знаний, с одной стороны, а с другой – максимально реализовать индивидуальные требования, чтобы процесс освоения знаний был интересен и познавателен.

В настоящее время основным принципом формирования образовательной программы является компетентностный подход (компетенция – это способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области), согласно которому компетентностная модель должна в максимальной степени учитывать требования рынка труда, а также, если речь идет о высшем профессиональном образовании, то и требования федеральных государственных образовательных стандартов. Современные образовательные стандарты (ФГОСЗ, ФГОСЗ+) высшего профессионального образования позволяют обучающемуся самостоятельно выбирать дисциплины для изучения в вариативной (профильной) части образовательной программы, устанавливаемой ВУЗом. Вариативная часть дает возможность расширения и углубления знаний

и умений. В тоже время существуют требования рынка труда, которые диктуют предпочтительные компетенции для дальнейшей конкурентоспособности обучаемого. Данные факты формируют противоречия в выборе дисциплин для изучения, необходимо обеспечить конкурентоспособное образование и учесть приоритеты обучаемого. В зависимости от уровня подготовки содержание учебного материала и календарный план его освоения могут быть различными.

Пусть  $D = \{D_1, \dots, D_n\}$  – множество дисциплин, предлагаемых для изучения в рамках некоторой образовательной программы,  $C = \{C_1, \dots, C_m\}$  – набор компетенций. Каждая учебная дисциплина обеспечивает набор компетенций, которыми будет обладать обучающийся после ее изучения. Предположим, что установлено соответствие между множествами  $C$  и  $D$ , т.е. для каждой дисциплины  $D_i$  известен соответствующий ей набор компетенций  $Comp(D_i) = \{C_{i_1}, \dots, C_{i_{m_i}}\}$ , а для каждой компетенции  $C_j$  – набор дисциплин  $Supp(C_j) = \{D_{j_1}, \dots, D_{j_{n_j}}\}$ . Если  $C_j \in Comp(D_i)$  то будем говорить, что дисциплина  $D_i$  покрывает компетенцию  $C_j$ .

Обозначим  $Index(D_i) = \{i_1, \dots, i_{m_i}\}$  – множество индексов компетенций, покрываемых дисциплиной  $D_i$ ;  $Index(C_j) = \{j_1, \dots, j_{n_j}\}$  – множество индексов дисциплин, покрывающих компетенцию  $C_j$ .

Число  $\tau_j = \frac{n_j}{n} (j \in Index(C_j))$  будем называть коэффициентом покрытия компетенции  $C_j$ . Очевидно, что, чем меньше коэффициент покрытия  $\tau_j$ , тем более значимы для учебного плана дисциплины, которые покрывают данную компетенцию.

Если компетенция  $C_j$  покрывается множеством дисциплин  $Supp(C_j)$ , то величина  $v_i^j = \frac{1}{n_j} (i \in Index(D_i))$  характеризует «вклад» дисциплины  $D_i$  в компетенцию  $C_j$ , а для всех остальных дисциплин  $v_i^j = 0$ . В свою

очередь, величина  $V_i = \sum_{j \in \text{Index}(D_i)} v_i^j$  есть суммарный вклад дисциплины  $D_i$  во все компетенции, предусмотренные компетентностной моделью. Чем больше  $V_i$ , тем важнее дисциплина  $D_i$  для учебного плана.

Пусть для дисциплины  $D_i$  известно время  $t_i$  ее изучения, тогда эффективностью дисциплины назовем величину  $E_i = \frac{V_i}{t_i}$  ( $i = \overline{1, n}$ ),  $E = \sum_{i=1}^n E_i$  – эффективность учебного плана, включающего набор дисциплин  $D = \{D_1, \dots, D_n\}$ .

Если для дисциплины  $D_i$  задано множество  $\text{Comp}(D_i)$ , то  $\lambda_j^i = \frac{1}{m_i} (j \in \text{Index}(C_j))$  – значимость компетенции  $C_j$  для дисциплины  $D_i$ , причем для  $j \notin \text{Index}(C_j)$  имеет место  $\lambda_j^i = 0$ . Чем больше  $\tau_j$ , тем больше возможностей для оптимизации учебного плана.

Пусть  $m_i$  – количество компетенций, покрываемых данной дисциплиной  $D_i$ , тогда величину  $\mu_i = \frac{m_i}{m}$  можно рассматривать как вес дисциплины  $D_i$ . Если учесть, что в компетенциях заложены требования рынка труда, то чем больше  $\mu_i$ , тем в большей степени дисциплина  $D_i$  важна для получения квалификации. С другой стороны, у каждого обучающегося могут быть свои предпочтения, связанные с выбором дисциплин для обучения. Тогда обучающемуся поставим в соответствие вектор предпочтений  $(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)$ , в котором компонента  $\varepsilon_i$  есть оценка предпочтительности  $i$ -й дисциплины. Для формирования вектора предпочтений целесообразно использовать широко известный метод парных сравнений [3], который позволяет учитывать нередко противоречащие друг другу факторы при оценке предпочтительности дисциплин. Для формирования матрицы парных сравнений можно использовать различные шкалы, при этом матрица парных сравнений удовлетворяет тем или иным калибровочным ограничениям. Методы обработки матрицы

парных сравнений зависят от типа калибровки. Один из наиболее известных методов – метод, основанный на вычислении собственного вектора, позволяет определить вектор предпочтений  $(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)$  для конкретного обучающегося. Заметим, что  $\varepsilon_i \in (0, 1]$  и  $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = 1$ .

Величины  $\mu_i$  и  $\varepsilon_i$  могут находиться между собой в следующих соотношениях:

а)  $\varepsilon_i \geq \mu_i$  – в данном случае можно говорить о согласованности интересов обучающегося и текущих требований рынка труда,

б)  $\varepsilon_i < \mu_i$  – данный случай свидетельствует о рассогласованности интересов обучающегося и рынка труда: предпочтения обучающегося являются неактуальными по отношению к рынку труда.

Таким образом, в общем случае может существовать конфликт интересов рынка труда и обучающегося, который может получить интересующие его знания, но они не будут востребованы рынком. Для количественной оценки степени конфликтности предлагается использовать оценки специального вида, введенные Руссманом И.Б. и получившие развитие в [4], которые, по сути, позволяют оценить «степень расхождения» двух заданных величин  $\varepsilon_i$  и  $\mu_i$ .

Коэффициентом согласованности интересов обучающегося и требований рынка труда при  $\varepsilon_i \geq \mu_i$  относительно  $i$ -й дисциплины назовем величину

$$K_i^+ = 1 - \frac{\varepsilon_i(1 - \mu_i)}{\mu_i(1 - \varepsilon_i)} \in [0, 1].$$

Коэффициентом рассогласованности интересов обучающегося и требований рынка труда при  $\varepsilon_i < \mu_i$  относительно  $i$ -й дисциплины назовем величину

$$K_i^- = \frac{\mu_i(1 - \varepsilon_i)}{\varepsilon_i(1 - \mu_i)} \in [0, 1].$$

Очевидно, что чем больше  $K_i^+$  и чем меньше  $K_i^-$ , тем лучше. Доопределим величины  $K_i^+$  и  $K_i^-$  следующим образом: если  $\varepsilon_i \geq \mu_i$ , то положить  $K_i^- = 1$  (максимальное значение коэффициента рассогласованности); если

$\varepsilon_i < \mu_i$ , то  $K_i^+ = 0$  (минимальное значение коэффициента согласованности).

В целом по всей совокупности учебных дисциплин можно построить комплексный коэффициент согласованности/рассогласованности интересов обучающегося и требований рынка труда. Для этого целесообразно использовать подходы к агрегированию оценок данного типа, изложенные в [4]. Различают два основных вида агрегирования: конъюнктивное и дизъюнктивное. Например, если выбрано конъюнктивное агрегирование, то комплексная оценка рассогласованности интересов обучающихся и требований рынка труда может быть вычислена по формуле

$$K^- = \frac{M(1-E)}{E(1-M)},$$

где  $M = \prod_{i=1}^n \mu_i$ ,  $E = 1 - \prod_{i=1}^n \varepsilon_i$  – комплексные оценки интересов обучающегося и требований рынка труда, причем можно показать, что  $M > E$ .

Если  $K^+ > K^-$ , то учебный план в целом является согласованным, иначе – несогласованным, т.е. обучающийся в процессе обучения может удовлетворить свои интересы, но существует риск, что он не будет востребован на рынке труда. В этом случае адаптивная система должна выдать рекомендации для принятия решения.

Для нахождения комплексных оценок интересов обучающегося и требований рынка труда можно использовать порядковые операторы взвешенного агрегирования [5], которые основаны на принципе «нечеткого большинства». Их преимуществом является наличие ряда количественных характеристик, которые отражают отношение к риску, уровень компенсации и позволяют целенаправленно строить процедуру агрегирования.

Заметим, что для освоения каждой дисциплины отводится определенное количество часов, причем при формировании индивидуальной образовательной траектории время для изучения дисциплины индивидуально и является одним из параметров адаптации.

Дисциплины могут находиться между собой в отношении предшествования, а, следо-

вательно, некоторую дисциплину можно изучать только после того, как будут изучены ей предшествующие. Цель заключается в нахождении совокупности дисциплин, позволяющей, с одной стороны удовлетворить индивидуальные потребности обучающегося, а, с другой, – подготовить высококвалифицированного специалиста для современного рынка труда.

Для построения модели введем следующие переменные:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если дисциплина } i \\ & \text{обеспечивает компетенцию } j, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{если дисциплина } i \\ & \text{включается в учебный план,} \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

При составлении модели целесообразно рассматривать следующие ограничения:

*ограничения на систему предпочтений обучающегося:*

а) пусть для каждой дисциплины  $C_i$  известны коэффициент согласованности  $K_i^+$  и коэффициент рассогласованности  $K_i^-$ , а также пороговые значения коэффициентов  $\Delta_i^+$  согласованности и  $\Delta_i^-$  рассогласованности соответственно, тогда потребуем

$$\begin{cases} K_i^+ \geq \Delta_i^+, \\ K_i^- < \Delta_i^-, \end{cases} \text{ для всех } i = \overline{1, n};$$

б) по большинству дисциплин комплексный коэффициент согласованности превышает коэффициент рассогласованности, т.е.  $K^+ > K^-$ , при этом предполагается, что для построения комплексной оценки используются порядковые операторы взвешенного агрегирования;

в) поскольку цель – получить согласованный учебный план, то задав некоторый порог  $\alpha$ , можно потребовать, чтобы  $K^+ \geq \alpha$ ;

г) пусть  $I^+ = \{i : K_i^+ > 0\}$ ,  $I^- = \{i : K_i^- < 1\}$ , тогда ограничение  $|I^+| > |I^-|$  означает, что большинство дисциплин, включаемых в учебный план, являются согласованными.

*технологические ограничения:*

а) дисциплины упорядочены отношением предшествования;

б) компетенция  $C_j$  обеспечивается хотя бы одной из дисциплин, т.е.

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{ij} > 0 \quad (j = \overline{1, m});$$

в) в учебный план необходимо включать только такие дисциплины, которые соотносены хотя с одной из компетенций, т.е.

$$\sum_{j=1}^m y_j x_{ij} > 0 \quad (i = \overline{1, m});$$

г) пусть  $t_i$  – рекомендуемое, например, на основе тестирования время для изучения дисциплины  $D_i$ , тогда  $\sum_{i=1}^n t_i y_i = T_{пл}$ , где  $T_{пл}$  – плановое время для освоения учебного плана;

д) пусть  $z_i$  – количество зачетных единиц, соответствующих дисциплине  $d_i$ , а  $ZET$  – общее количество зачетных единиц, определяемое образовательным стандартом, тогда

$$\sum_{i=1}^n z_i y_i = ZET;$$

*стратегические ограничения:*

пусть  $E$  – пороговое значение эффективности учебного плана, тогда целесообразно включить в него такие дисциплины, которые обеспечивают эффективность, не ниже заданного порога, т.е.  $\sum_{i=1}^n v_i y_i \geq E$ .

При проектировании учебного плана критерии оптимальности могут также быть различными:

- максимизация весов дисциплин, включаемых в учебный план, т.е.  $\sum_{i=1}^n \mu_i y_i \rightarrow \max$ ;

- максимизация (минимизация) комплексного коэффициента согласованности (рассогласованности), т.е.  $K^+ \rightarrow \max$  ( $K^- \rightarrow \min$ );

- максимизация эффективности, т.е.

$$\sum_{i=1}^n v_i y_i \rightarrow \max.$$

Сформулированные выше компоненты оптимизационной модели для составления индивидуального учебного плана обучающегося могут использоваться в различных ком-

бинациях, а сама модель представляет собой задачу комбинаторной оптимизации, при этом может оказаться необходимым рассматривать сразу несколько целевых функций. В этом случае целесообразно учитывать тип взаимодействия целевых функций [6].

## 2. АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПЛАНА

Учебный план представляет собой совокупность дисциплин, покрывающих заданный набор компетенций, и формируется поэтапно. После вычисления комплексного коэффициента согласованности обучающегося необходимо определиться с тем, удовлетворяет ли его значение этого коэффициента. Для анализа ситуации и принятия решений необходима специальная процедура, которая может быть реализована, например, в виде продукционной (экспертной) системы.

Теперь, когда коэффициенты согласованности дисциплин определены, необходимо перейти к разработке алгоритма построения учебного плана. Самое важное ограничение – это обеспечить компетенции, поэтому совокупность дисциплин и набор компетенций можно представить в виде двудольного графа, одна доля которого – дисциплины (для общеобразовательных программ высшего образования это дисциплины, относящиеся к вариативной части), а другая – компетенции. Каждой дуге  $(D_i, C_j)$  соответствует вес  $r_{ij} = v_i^j$ , определяющий значимость дисциплины для данной компетенции. На этом этапе задача составления учебного плана представляет собой задачу о назначении в двудольном графе и заключается в поиске оптимального покрытия заданных компетенций. Оптимальным является покрытие, для которого затраты на изучение дисциплин будут минимальны и все компетенции обеспечены на 100 %. Суммарная продолжительность учебных дисциплин, включенных в план, не должна превышать максимальный объем времени, отведенного на изучение этих дисциплин. Для решения задачи в такой постановке предлагается использовать метод жадного поиска [3], который основывается на рассмотрении в первую

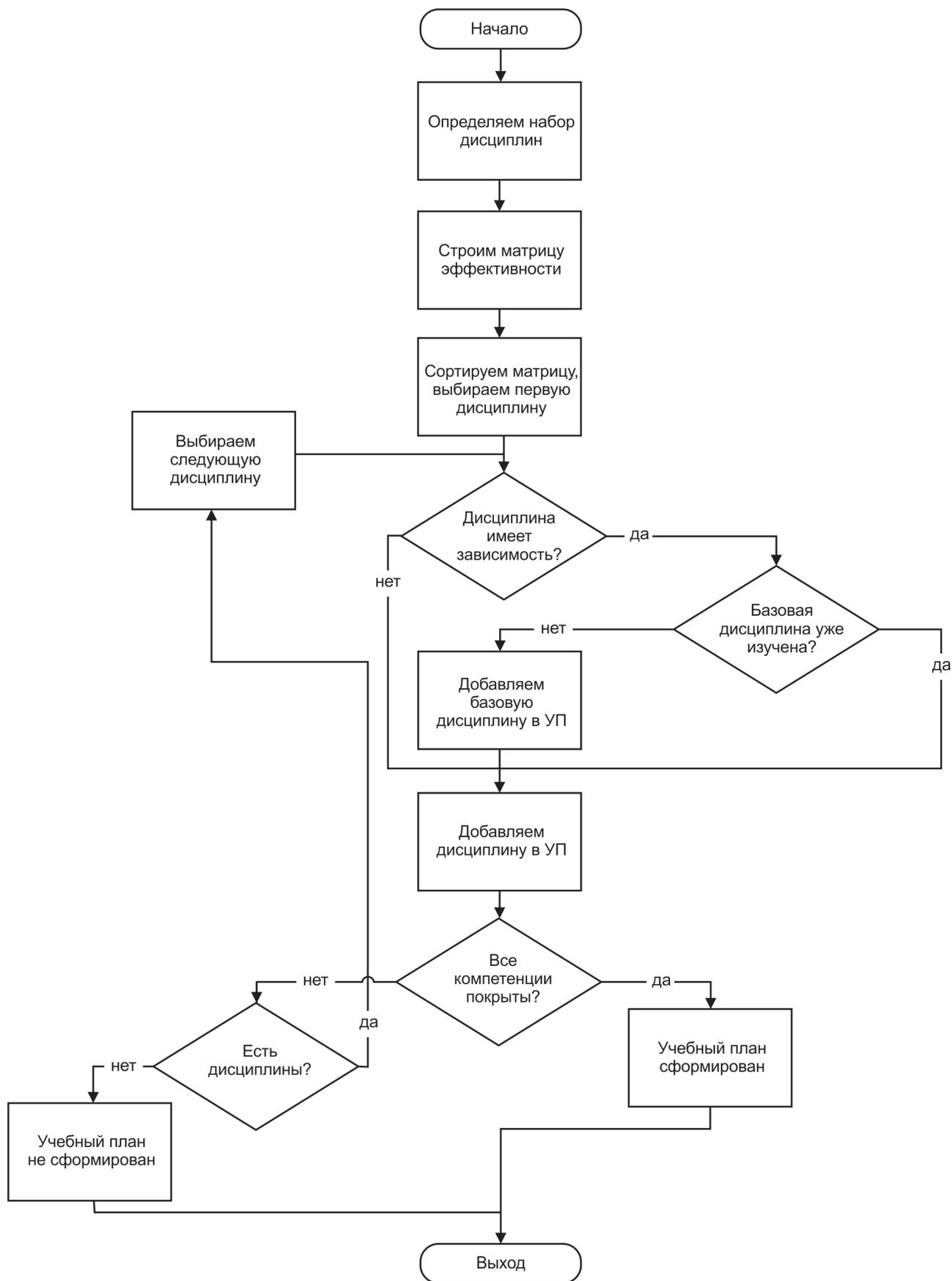


Рис. 1. Блок-схема алгоритма составления учебного плана

очередь элементов, имеющих максимальную эффективность. Для решения поставленной задачи необходимо ввести матрицу  $M_E$ , строки которой соответствуют дисциплинам, доступным для изучения, в столбцы – компетенциям. Каждый элемент матрицы будет представлять собой вклад дисциплины в компетенцию. Добавим к матрице столбцы с элементами  $E_i$  и коэффициентами согласованности дисциплин  $K_i^+$  для данного обучающегося.

Для формирования совокупности дисциплин, которые будут включены в учебный план, предлагается следующая эвристическая процедура:

1) Определить набор  $C$  и дисциплин  $D$ , которые, по мнению экспертов, покрывают этот набор.

2) Построить описанную выше таблицу с элементами  $v_i^j, E_i, K_i^+$ .

3) Упорядочить строки в таблице по убыванию параметра  $K_i^+$ , а затем по убыванию параметра  $E_i$ , тем самым, будет получен список для просмотра дисциплин.

4) Просмотр дисциплин в списке: если дисциплина имеет предшествующую дисциплину, то переходим к шагу 5, иначе – к шагу 6.

5) Проверка: изучал ли обучающийся предшествующую дисциплину. Если данная дисциплина не изучалась, то добавляем ее в учебный план. Переходим к шагу 6.

6) Добавить текущую дисциплину в учебный план.

7) Проверить степень покрытия каждой из компетенций. Если все компетенции покрыты, переходим к шагу 9, иначе к шагу 8.

8) Если не все дисциплины просмотрены, то переходим на следующую дисциплину и далее на шаг 4, иначе построение учебного плана невозможно – выход.

9) Статистический анализ сформированного учебного плана.

Блок-схема алгоритма формирования учебного плана показана на рис. 1.

Описанный в статье алгоритм использовался при разработке адаптивной системы дистанционного обучения в сфере информационных технологий. Его эффективность

опробована при внедрении данной системы в негосударственном образовательном учреждении «ЦРП» для обучения инженеров-проектировщиков работы в программных продуктах группы компаний «ЭКО-центр». Апробация показала повышение качества обучения специалистов в сравнении с классической методикой. Эффективность адаптивного подхода наилучшим образом проявилась в условиях подготовки специалистов с различным уровнем знаний, и позволила максимально эффективно распределить время обучения каждого отдельного обучающегося.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенностью разработанного алгоритма является применение ряда числовых характеристик, включая коэффициенты согласованности и рассогласованности, что позволит в максимальной степени учитывать, как предпочтения обучающегося, так и требования работодателей. Предложенный подход ориентирован на быстро меняющиеся предметные области, в частности, для подготовки специалистов в сфере информационных технологий, как одной из наиболее быстроразвивающихся сфер.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О создании объединенного проекта по разработке нормативно-правовых документов и отраслевых стандартов дистанционного обучения Электронный ресурс. : приказ Минобразования РФ от 16 июня 2000 г. № 1791. Режим доступа: <http://www.informika.ru>.

2. Власенко А. А. Разработка структуры адаптивной системы обучения / А. А. Власенко // Вестник Воронежского Государственного технического университета. – 2011. – № 6. – С. 50–52.

3. Леденева Т. М. Системы искусственного интеллекта и принятия решений 6 учеб. пособие / Т. М. Леденева, С. Л. Подвальный, В. И. Васильев; Уфимск. Гос. авиац. Техн. ун-т, Воронеж. гос. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2005. – 206 с.

4. Леденева Т. М. Моделирование процесса агрегирования информации в целенаправленных системах / Т. М. Леденева. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 1999. – 155 с.

5. Леденева Т. М. Операторы агрегирования в оценочных моделях / Т. М. Леденева, Т. Н. Недикова // Информационные технологии. – 2003. – № 2. – С. 2–9.

**Шашкин А. И.**, д.ф.-м.н., профессор кафедры математического и прикладного анализа.

Tel.: 8-903-653-12-11. E-mail: dean@amm.vsu.ru

**Власенко А.А.**, аспирант кафедры вычислительной математики и прикладных информационных технологий. E-mail: alexey121288@gmail.com

6. Леденева Т. М. Об одном подходе к анализу задач многокритериальной оптимизации / Т. М. Леденева, Е. М. Аристова // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – Т. 47. – Т. 1. – С. 11–14.

**Shashkin A.I.** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Mathematical and Applied Analysis Department

**Vlasenko A.A.**, postgraduate of computational mathematics and applied information technology department.