УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.372 : 004.04

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

Статья поступила в редакцию 12.11.2017, в окончательном варианте –.11.01.2018.

Данилова Любовь Филипповна, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 630102, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86,
младший научный сотрудник, e-mail: lubermolenko@yandex.ru
Захаров Никита Юрьевич, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 630102, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86,
младший научный сотрудник, аспирант, e-mail: zakhar_1907@mail.ru
Полетайкин Алексей Николаевич, Кубанский государственный университет, 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: alex.poletaykin@gmail.com
Шевцова Юлия Владимировна, Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 630102, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: shevcova_yuliya@mail.ru

Предложен инновационный подход к построению компетентностной модели профессиональной образовательной программы. Идея заключается в конструировании профессиональных компетенций с оптимальной структурой и их кластеризации с учетом предпочтений работодателя. Статья главным образом посвящена разработке многопараметрической целевой функции и базовой оптимизационной модели для решения задачи конструирования компетенций на основе профессиональных стандартов. При этом компетенция рассматривается как связанная структура необходимых знаний, умений и навыков трудовых действий. Их совокупность определяется трудовыми функциями (ТФ), либо обобщенными ТФ и параметризованными экспертными оценками. Определены и формализованы 16 частных критериев оптимизации структуры компетенции, на основе которых строится интегральный критерий оптимизационной модели.

Ключевые слова: конструирование компетенций, трудовые функции, структурная модель, групповые экспертные оценки, частные критерии, многопараметрическая оптимизация, целевая функция

Графическая аннотация (Graphical annotation)

OPTIMIZATION MODEL OF PROFESSIONAL COMPETENCIES DESIGN

Article was received by editorial board on 12.11.2017, in the final version – 11.01.2018.

Danilova Lubov P., Siberian State University of Telecommunications and Information Science, 86 Kirova St, Novosibirsk, 630102, Russian Federation,
Junior Researcher, e-mail: lubermolenko@yandex.ru
Zakharov Nikita Yu., Siberian State University of Telecommunications and Information Science, 86 Kirova St, Novosibirsk, 630102, Russian Federation,
Junior Researcher, post-graduate Student, e-mail: zakhar_1907@mail.ru
Poletaykin Aleksey N., Kuban State University, 149 Stavropol'skaya St, Krasnodar, 350040, Russian Federation,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: alex.poletaykin@gmail.com
Shevtsova Julia V., Siberian State University of Telecommunications and Information Science, 86 Kirova St, Novosibirsk, 630102, Russian Federation,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: shevcova_yuliya@mail.ru

The paper proposes innovative approach to the design of competency model of professional educational program. The idea is to design optimally-structured professional competencies and their clustering taking into consideration employer's preferences. This research is devoted to the development of a multiparametric objective function and basic optimization model to solve the problem of designing educational competencies based on professional standards. At the same time, the given definition of a competency states that it is a coherent structure of necessary knowledge, skills and labor actions, determined by labor functions and parameterized expert assessments. The authors have determined and formalized sixteen partial criteria for the optimization of the competency structure. Utilizing the defined partial criteria, the paper develops an integral criterion of the optimization model. The basis of the optimization model is the unit of genetic algorithms.

Keywords: competencies determination, labor function, structural model, group expert assessments, partial criteria, multiparametric optimization, objective function

Введение. Совершенствование Российской системы высшего и среднего профессионального образования является необходимым условием обеспечения успешного социально-экономического развития страны, подготовки (воспроизводства) квалифицированных специалистов в различных отраслях. Одним из средств обеспечения качества такой подготовки является разработка и практическое использование Федеральных стандартов Высшего Образования (ФГОС ВО), ориентированных на компетентностный подход к подготовке специалистов. Этим вопросам посвящено достаточно много работ, однако некоторые направления остаются исследованными недостаточно полно. Одним из таких направлений следует считать технологии конструирования самих компетенций, а также критерии оценки оптимальности того, что в них закладывается. Поэтому основной целью настоящей работы была попытка устранить указанный недостаток существующего положения.

Общая характеристика проблематики работы. На протяжении трех последних лет Российскую систему высшего и среднего профессионального образования будоражит известие о предстоящем вступлении в силу образовательных стандартов с учетом профессиональных стандартов (ПС) и связанных с ними ФГОС ВО нового поколения (3++) [17]. Изменения образовательных стандартов, уже принимающие системный характер, порождают серьезные опасения руководителей образовательных организаций, т.к. требуют масштабных изменений образовательных программ (ОП) и сопутствующих методических, нормативных и технических документов. Необходимость модернизации ФГОС3+ связана с введением в действие Федерального закона (ФЗ) № 122-ФЗ «О внесении изменений в трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 федерального закона «Об образовании в РФ» от 02.05.2015 [10]. В этом ФЗ сказано следующее:

1) часть 7 статьи 11 изложить в следующей редакции: «Формирование требований федеральных государственных образовательных стандартов профессионального образования к результатам освоения основных образовательных программ профессионального образования в части профессиональной компетенции осуществляется на основе соответствующих профессиональных стандартов (при наличии)»;

2) ФГОС ВО, утвержденные до 1 июля 2016 года, подлежат приведению в соответствие с требованиями, установленными частью 7 статьи 11 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ с 1 июля 2016 г.

На момент написания данной статьи (декабрь 2017 г.) большая часть ФГОС ВО 3++ были утверждены, а часть из них уже вступила в силу, либо вступает в силу в ближайшее время [15]. Прежде всего, следует отметить неизменность компетентностного подхода к результатам освоения ОП, предусмотренных ФГОС ВО 3++. Значимость этого подхода неоднократно рассматривалась во многих трудах, в частности [1, 3, 4, 8, 9, 19]. При этом отмечалось, что традиционные подходы были слабо ориентированы на интегральные междисциплинарные знания в силу заложенной в них одномерности, не проверяющей сте-

пень освоения выпускниками компетенций, включая способность учиться, способность к анализу и синтезу, переносу знаний и умений в новые ситуации, генерации идей и т.д. [20]. Также во ФГОС ВО 3++ подтверждается, что оценка качества образования должна быть основана на оценке компетенций [3, 4, 8]. При планировании процесса подготовки выпускников создаются паспорта компетенций, при этом совокупностью дисциплин учебного плана должны быть «охвачены» все компетенции.

Кроме того, при формировании учебных планов должна учитываться степень востребованности компетенций. Как следствие, дисциплинам должно назначаться количество кредитных (зачетных) единиц в соответствии со степенью их значимости для формирования компетенций [8, 18]. Цель модернизации существующих ФГОС ВО заключается в оптимизации результатов освоения ОП. При этом нововведением является требования к разработке ОП с учетом требований ПС. Преимущество данного подхода состоит в том, что у будущих потенциальных работников наукоемких отраслей существует ряд потребностей для успешной профессиональной самореализации, таких как: необходимость самопродвижения, выявление трендов в отношении изменений востребованности у работодателей, повышение профессиональной квалификации [5]. Тем самым, будет обеспечено максимальное соответствие компетенций, которые осваивают выпускники вузов, и требований работодателей – это значительно повысит уровень профессионализма и отраслевых знаний будущих специалистов. Проблема формирования высококвалифицированных специалистов на рынке труда остается актуальной на протяжении долгого времени [7]. С позиций абитуриентов, самих обучающихся и потенциальных работодателей состав знаний и практических умений, влияющий на «рыночную конкурентоспособность специалистов», обычно является более конкретным. При этом целесообразно выделять компоненты компетентности, которые необходимо наделять определенной оценкой [2].

Все вышеизложенное предопределяет конкретную цель данного исследования: создание методики синтеза компетенций на основе заданного множества компонентов с оптимальной структурой, удовлетворяющей принципам системности, однородности и профессиональной ориентированности. Таким образом, будут обеспечены целостность и направленность образовательного процесса, и, как следствие, повышение уровня подготовки специалистов.

Объектом исследования в данной статье является «компетенция», которая рассматривается с позиций системного анализа как связанная структура знаний, умений и навыков трудовых действий, определяемых профессиональными стандартами по направлениям подготовки в соответствии с ФГОС.

Предметом исследования выступают методы структурного моделирования и оптимизации внутренней структуры компетенции, структурная модель компетенции и оптимизационный алгоритм конструирования компетенции.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи.

1. Определение структурного состава и множества характеристик компонентов компетенции.
2. Построение структурной модели компетенции, удовлетворяющей указанным выше принципам.
3. Разработка критериев оптимальности и целевой функции оптимизации структуры компетенции.
4. Выбор метода оптимизации и разработка алгоритма конструирования компетенции.
5. Проведение исследования алгоритма при различных вариациях (изменениях) характеристик компонентов компетенции.

Структурное моделирование образовательных компетенций. При рассмотрении структурного состава компетенций в первую очередь следует обратить внимание на связь ФГОС (3++) с ПС. На эту связь повлияли вступившие в силу с 1 июля 2016 г. изменения в Трудовом кодексе (ТК) РФ об особенностях применения ПС. Среди прочего, работодатели обязаны будут применять эти стандарты, если ТК РФ или иными нормативными актами установлены особые требования к квалификации работников. Необходимость разработки и введения в действие ПС определена Указом Президента РФ «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики» [11]. Согласно проектам ФГОС 3 ++ (см., например, [21]), в результате освоения ОП бакалавриата у выпускника должны быть сформированы универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции. При этом образовательная организация может самостоятельно устанавливать одну или несколько профессиональных компетенций – исходя из профиля программы, на основе ПС. Согласно ФГОС, из каждого выбранного ПС выделяется одна или несколько обобщённых трудовых функций, причем каждая их них может быть выделена полностью или частично по составляющим ее трудовым функциям (ТФ). Так, для направления подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика» уровня бакалавриата имеет место набор из четырех ПС, включающий в себя 5 обобщенных и 104 простых ТФ. Каждая ТФ, в свою очередь, включает в себя множество знаний, умений и навыков (ЗУН). Число таких элементов в составе 104 ТФ составляет около тысячи, а число возможных системных связей между ними, соответственно, около миллиона. В связи с этим возникает задача определения оптимального структурного состава профессиональных компетенций на основе заданного набора ТФ. Установлено, что данная задача имеет степенную сложность. Поэтому для ее решения целесообразно использование генетических алгоритмов (ГА).

Решению подобных задач посвящен ряд рассмотренных выше работ. Большинство авторов сходятся в том, что объективизация результатных оценок оказывает существенное влияние на качество решения «сверхзадачи» (т.е. основной цели) и зачастую требует применения нетривиального аналитического аппарата. Проведенное исследование [14] позволило определить структуру и множество характеристик компонентов компетенции, а также построить новую структурную модель компетенции, удовлетворяющую принципам системности, однородности и профессиональной ориентированности. В общем виде данная структура выглядит так:

$$M = \left\{ g\left(\left\langle \Theta_k, \Theta_l \right\rangle, \Sigma_{kl} \right) \in G \right\}, \tag{1}$$

где Θ_k и Θ_l – пара связанных ЗУН ($k \neq l$), Σ_{kl} – ориентированная связь от Θ_k к Θ_l, g – двухвершинный граф с одним ребром, G – множество элементов g, образующее структурную модель компетенции в виде связного графа.

Принимая во внимание открытость данной модели в ее структуре выделяются подмножества базовых $\Theta\beta$ и дополнительных $\Theta\gamma$ ЗУН, непересекающиеся с подмножеством образующих ЗУН $\Theta\alpha$. Последние образуют ядро компетенции и связаны с другими ЗУН хотя бы одной входящей внутренней связью, что является их характерным свойством. Именно образующие ЗУН задействуются для установления внешних связей с другими компетенциями кластера посредством копирования в другую компетенцию в качестве базовых ЗУН. Остальные ЗУН называются дополнительными. Они обеспечивают освоение образующих ЗУН и связаны с ядром исходящими однонаправленными связями. При этом модель (1) преобразуется в отношении i-ой компетенции к следующему виду:

$$\begin{gathered} M_i = \left\{ g_\alpha \left(\left\langle \Theta\alpha_k, \Theta\alpha_l \right\rangle, \Sigma\alpha_{kl} \right),\ g_\beta \left(\left\langle \Theta\beta_k, \Theta\alpha_l \right\rangle, \Sigma\beta\alpha_{kl} \right), \right. \\ \left. g_\gamma \left(\left\langle \Theta\gamma_m, \Theta\alpha_l \right\rangle, \Sigma\gamma\alpha_{ml} \right),\ \Sigma_{ji}\alpha\beta, \Sigma_{ij}\alpha\beta \right\}, \\ g_\alpha \in G_i, \quad g_\beta \in G_i, \quad g_\gamma \in G_i, \\ \left\{ g_\alpha \right\} \cap \left\{ g_\beta \right\} \cap \left\{ g_\gamma \right\} = \varnothing, \end{gathered} \tag{2}$$

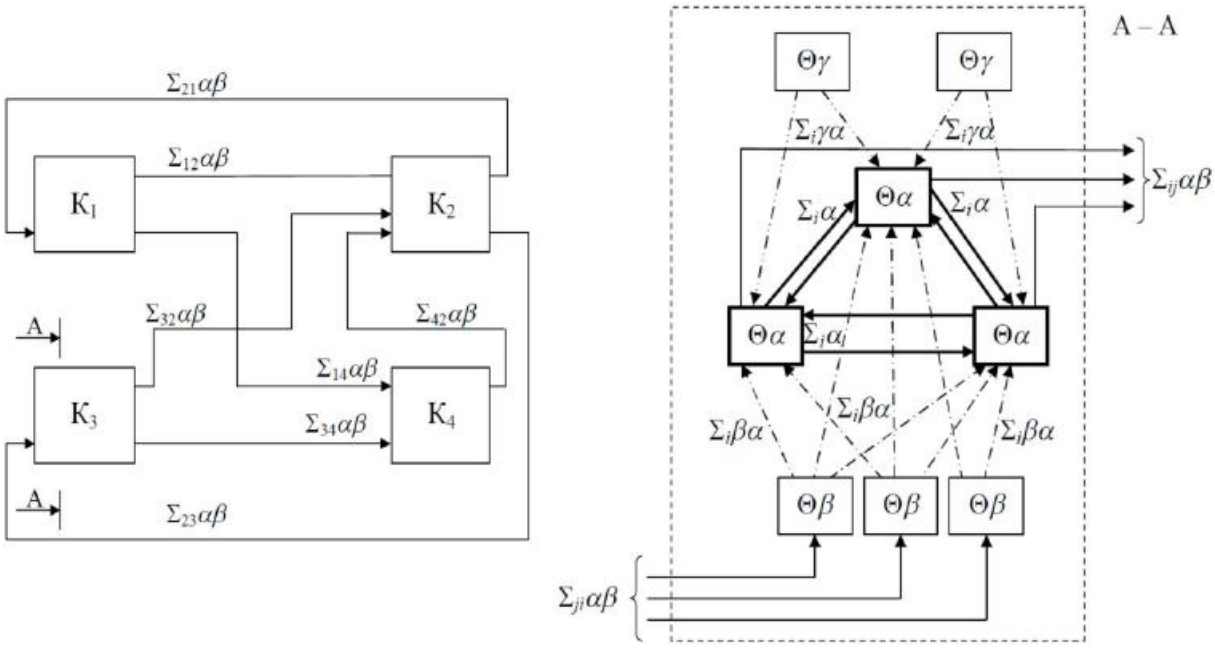
где M_i – структурная модель i-ой компетенции, компоненты $\Theta\beta_k$, $\Theta\alpha_l$ и $\Theta\gamma_m$ – соответственно базовый, образующий и дополнительный ЗУН, $\Sigma_i\alpha_{kl}$ – ориентированная связь от $\Theta\alpha_k$ к $\Theta\alpha_l$, $\Sigma_i\beta\alpha_{kl}$ и $\Sigma_i\gamma\alpha_{ml}$ – ориентированная связь соответственно от $\Theta\beta_k$ и от $\Theta\gamma_k$ к $\Theta\alpha_l$ (обратная связь запрещена), g_α – двухвершинные графы, представляющие ядерные связи, g_β и g_γ – двухвершинные графы, связывающие периферийные ЗУН с ядром, $\Sigma_{ji}\alpha\beta$ – входящая внешняя связь, привносящая в структуру данной, i-й компетенции базовый ЗУН как копию образующего ЗУН некоторой j-ой компетенции, $\Sigma_{ij}\alpha\beta$ – исходящая внешняя связь, транслирующая образующий ЗУН из ядра данной, i-ой компетенции в структуру j-ой компетенции в качестве базового ЗУН.

В качестве примера на рисунке 1а показана связанная структура типового кластера из четырех компетенций, а на рисунке 1б обобщенно представлена модель (2) в графическом виде, отображающая внутреннюю структуру (вертикальный срез) компетенции.

На рисунке 1б показаны три вида ЗУН и 4 вида связей. Базовые ($\Theta\beta$), привносимые в структуру компетенции извне (из других компетенций), образуют основу для ядра, обеспечивают преемственность при освоении ядерных ЗУН и открытость по отношению к надсистеме – компетентностной модели ОПОП. Дополнительные ЗУН ($\Theta\gamma$) – это ЗУН, введенные в компетенцию для уточнения ее семантики, либо выпавшие из ядра при удалении лишних связей.

Ядерные связи ($\Sigma\alpha$, как и образующие ЗУН, показаны сплошной жирной линией) устанавливают отношения между образующими ЗУН и могут иметь любую направленность, образуя 9 типов связей в сочетаниях трех типов: З, У, Н. Связи между периферийными и образующими ЗУН ($\Sigma\beta\alpha$ и $\Sigma\gamma\alpha$, показаны пунктиром с точкой и с двумя точками соответственно) направлены только к ядру. Внешние $\Sigma\alpha\beta$ связи (показаны сплошной тонкой линией) связывают ядра компетенций, однонаправлены от ядра к базовому ЗУН другой компетенции, который является копией образующего ЗУН с другой стороны связи.

Данная структурная модель является базовой и может включать в себя графы, связывающие разнородные компоненты, например, ЗУН и личностное качество.



а) Структура кластера компетенций б) Вертикальный срез внутренней структуры

Рисунок 1 – Системное представление компетентностной модели

Разработка целевой функции оптимизации структуры компетенции. Если же говорить об оптимальной структуре компетенции, то следует определить критерии ее оптимальности и разработать соответствующий математический аппарат. В качестве частных критериев логично использовать характеристики компонентов, образующих оптимизируемую структуру. Под компонентами будем понимать ЗУН и двухвершинные графы, объединяющие пары ЗУН направленными связями. Разработанные частные критерии оптимизации внутренней структуры *i*-ой компетенции сведены в табл. 1 и сопровождаются кратким описанием. Значения всех критериев, кроме логического критерия «1», нормированы в масштабе единичного интервала. Наилучшее значение критерия – единица.

Таблица 1 – **Критерии оптимизации внутренней структуры компетенции**

№ п/п	Показатель	Обозначение, интервал нормирования	Экспертные оценки	Возможность оценивания	
				ЗУН	Связи
1.	Проф. ориентация	P_i	–	Да	Да
2.	Коэффициент профессиональной направленности	K_{P_i}	–	Да	Да
3.	Коэффициент типизации	$K_{T\,i}$	Q_T^{Θ}, Q_T^{Σ}, K_T^{Θ}, K_T^{Σ}	Да	Да
4.	Трудоемкость	$\overline{T_i}$, $[a_t;b_t]^*_{\Theta}$	T_{ij}, $a_{t\Theta_j}$, $b_{t\Theta_j}$	Да	Нет
5.	Мощность	$\overline{S_i}$, $[a_s;b_s]^*$	$a_{s\Theta_j}$, $b_{s\Theta_j}$	Да	Нет
6.	Коэффициент связности	$\overline{K_{ri}}$, $[a_r;b_r]^g$	a_r, b_r	Оценивание на системном уровне	
7.	Коэффициент достижимости	$\overline{K_{di}}$, $[a_d;b_d]^g$	a_d, b_d		
8.	Ширина	$\overline{W_i}$, $[a_w;b_w]^*$	a_w, b_w		
9.	Глубина	$\overline{D_i}$, $[D_{\min};D_{i\max}]$	–		
10.	Ядерность	J_i	–	Да	Да
11.	Гармоничность	H_i	–	Да	Нет
12.	Значимость	S_i	K_S^{Θ}, K_S^{Σ}	Да	Да

Продолжение таблицы 1

13.	Коэффициент полезности	$K_{U\,i}$	U_{ij}	Да	Нет
14.	Коэффициент близости	$K_{V\,i}$	V_{ik}	Нет	Да
15.	Коэффициент внутренней системности	$K_{I\,i}$	I_{ik}	Нет	Да
16.	Коэффициент внешней системности	$K_{O\,i}$	O_{ij}^{Θ}, O_{ik}^{Σ}, K_{O}^{Θ}, K_{O}^{Σ}	Да	Да

Данный набор критериев, возможно, является избыточным. Однако оценка значимости и целесообразности учета того или иного критерия – это тема отдельной статьи. Рассмотрим более детальное формальное представление критериев.

1. Профессиональная ориентация. Критерий не имеет числового выражения и представляет собой подмножество P^* одного из множеств $P_{TФ} \subset P_{OTФ} \subset P_{ПС}$ соответственно трудовых функций, обобщенных трудовых функций и профессиональных стандартов. При оптимизации может быть использовано ограничение P_i области допустимых ЗУН Θ_i и/или связей Σ_i, включаемых в состав *i*-ой компетенции, вследствие их принадлежности к данному подмножеству. Возможные направления использования: а) для оценивания множества ЗУН: $P_i^{\Theta} = \Theta_i \in P^*$; б) для оценивания множества связей: $P_i^{\Sigma} = \Sigma_i \in P^*$; в) комплексная оценка: $P_i = P_i^{\Theta} AND\ P_i^{\Sigma}$.

2. Коэффициент профессиональной направленности K_{P_i} представляет собой среднее отношение числа вхождения ЗУН и/или их паросочетаний (связей) *i*-ой компетенции в элементы выбранного подмножества P^* к общему их числу. Он может быть использован для следующих целей: а) для оценивания множества ЗУН: $K_{P\,i}^{\Theta} = \dfrac{1}{\left|P^*\right| \cdot \left|\Theta_i\right|} \sum_{j=1}^{\left|\Theta_i\right|} \sum_{k=1}^{\left|P^*\right|} C_{jk}^{\Theta}$; б) для оценивания множества связей: $K_{P\,i}^{\Sigma} = \dfrac{1}{\left|P^*\right| \cdot \left|\Sigma_i\right|} \sum_{l=1}^{\left|\Sigma_i\right|} \sum_{k=1}^{\left|P^*\right|} C_{lk}^{\Sigma}$; в) комплексная оценка: $K_{Pi} = \dfrac{K_{P\,i}^{\Theta} + K_{Pi}^{\Sigma}}{2}$.

В данных выражениях C_{jk}^{Θ} и C_{lk}^{Σ} – битовые переменные, выражающие факт вхождения соответственно *j*-го ЗУН и *l*-ой связи в *k*-ый элемент множества P^*:

$$C_{jk}^{\Theta} = \begin{cases} 0,\ \Theta_j \notin p_{k,}\ p_k \in P^*, \\ 1,\ \Theta_j \in p_{k,}\ p_k \in P^*; \end{cases} \quad C_{lk}^{\Sigma} = \begin{cases} 0,\ \Sigma_l \notin p_{k,}\ p_k \in P^*; \\ 1,\ \Sigma_l \in p_{k,}\ p_k \in P^*. \end{cases}$$

3. Коэффициент типизации $K_{T\,i}$ вычисляется на основе частотных распределений в структуре *i*-ой компетенции трех типов ЗУН $f_{ij}^{\Theta_i / \Theta_{\beta_i}}$ ($j = \overline{1,3}$) и/или девяти типов связей между ними $f_{ik}^{\Sigma_i}$ ($k = \overline{1,9}$) с учетом экспертных оценок Q_{Tj}^{Θ} и Q_{Tk}^{Σ} ($Q \in R$, $Q = \overline{0,10}$) значимости типов. Может быть использован:

а) для оценивания множества ЗУН (частоты распределения типов ЗУН $f_{ij}^{\Theta_i / \Theta_i \beta}$ определяются без учета базовых ЗУН): $K_{T\,i}^{\Theta} = \dfrac{1}{10} \sum_{j=1}^{3} Q_{Tj}^{\Theta} f_{ij}^{\Theta_i / \Theta_i \beta}$; б) для оценивания множества связей: $K_{T\,i}^{\Sigma} = \dfrac{1}{10} \sum_{k=1}^{9} Q_{Tk}^{\Sigma} f_{ik}^{\Sigma_i}$; в) для комплексной оценки с учетом коэффициентов значимости типов ЗУН K_T^{Θ} и типов связей K_T^{Σ} ($K \in R$, $K = \overline{0,1}$, $K^{\Theta} + K^{\Sigma} = 1$): $K_{T_i} = K_T^{\Theta} K_{T\,i}^{\Theta} + K_T^{\Sigma} K_{T\,i}^{\Sigma}$.

Значение коэффициента типизации существенно зависит также от мощностей множеств $\left|\Theta_i\right|$ и $\left|\Sigma_i\right|$. Поэтому, наряду с критерием «5» (нормированная мощность, см. далее), коэффициент типизации может выступать как критерий минимальной достаточности структурных элементов компетенции.

4. Трудоемкость $\overline{T_i}$ формирования *i*-ой компетенции определяется, как среднее арифметическое трудоемкостей T_{ij} освоения ЗУН, нормированных в единичный отрезок в экспертно определенном диапазоне «идеальных» значений $\left[a_t;b_t\right]^*_\Theta$ для каждого типа ЗУН: $\overline{T_i}=\frac{1}{|\Theta_i|}\sum_{j=1}^{|\Theta_i|}\overline{T_{ij}}$, где $\overline{T_{ij}}$ – нормированная трудоемкость освоения *j*-го ЗУН *i*-ой компетенции, $a_{t\Theta_j}$ и $b_{t\Theta_j}$ – границы интервала $\left[a_t;b_t\right]^*_\Theta$ для типа *j*-го ЗУН. Данный показатель также может использоваться для определения ограничения, согласно которому структурный состав *i*-ой компетенции должен удовлетворять условию: $T_i=\sum_{j=1}^{|\Theta_i|}T_{ij}^{\Theta}$, $T_i\in\left(0;T_{CP}\right)$, где T_{CP} – средняя трудоемкость освоения компетенции, определяемая как отношение суммарной трудоемкости ОП к числу компетенций в учебном плане. Так, для бакалавриата (согласно ФГОС, $T_{БАК}$ = 240 ЗЕТ) при 30-ти компетенциях T_{CP} = 8 ЗЕТ.

5. Мощность *i*-ой компетенции $\overline{S_i}$ определяется как средняя нормированная величина количества трех типов ЗУН в структуре компетенции $\overline{S_{ij}}$. Как и для критерия «4», нормирование осуществляется на экспертно определенном интервале «идеальных» значений $\left[a_{s\Theta_j};b_{s\Theta_j}\right]^*$, где *j* – номер типа ЗУН: $\overline{S_i}=\frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3}\overline{S_{ij}}$.

6. Коэффициент связности *i*-ой компетенции K_{ri} вычисляется как отношение суммы степеней всех ЗУН к их количеству и характеризует насыщенность компетенции связями:

$$K_{ri}=\frac{\sum_{j=1}^{|\Theta_i|}\deg\left(\Theta_{ij}\right)}{|\Theta_i|}.$$

Нормированное значение критерия в единичный отрезок $\overline{K_{ri}}$ определяется, исходя из экспертно определенного интервала «хороших» значений $\left[a_r;b_r\right]^g$, ниже которого находится «плохая» область значений, а выше – «идеальная»:

$$\overline{K_{ri}}=\begin{cases}0,\ K_{ri}\le a_r,\\ \dfrac{K_{ri}-a_r}{b_r-a_r},\ K_{ri}\in\left(a_r;b_r\right),\\ 1,\ K_{ri}\ge b.\end{cases}$$

Для рассмотрения критериев «7–9» следует ввести понятие базиса компетенции. **Базис** *i*-ой компетенции $\mathrm{B}_{ij}\in\mathrm{B}_i$, $j=\overline{1,\ |\Theta_i\beta|}$, представляет ациклический подграф на модели M_i (2) с началом в базовом ЗУН и конце в образующем ЗУН типа «Умение», либо «Навык». Такой подграф характеризуется множеством ребер $G_{ij}\in G_i$. Кроме того он включает множество ациклических маршрутов R_{ij}, каждый *k*-ый маршрут которого характеризуется подмножеством ребер $G_{ijk}\in G_{ij}$ и длиной L_{ijk}, равной числу ребер, входящих в маршрут. Максимальное число возможных базисов в компетенции на множестве ЗУН (без учета числа базовых ЗУН):

$$\left|\mathrm{B}_i\right|_{\max}=\left(1-\frac{|\Theta_{i1}|}{n}\right)\sum_{m=2}^{n}\frac{n!}{(n-m)!},\qquad(3)$$

где Θ_{i1} – множество ЗУН типа «Знание» i-ой компетенции. Максимально возможная длина маршрута в этом случае составит $n=|\Theta_i|$.

7. Коэффициент достижимости определяется как отношение числа двухвершинных графов G в базисе к числу возможных маршрутов на этом базисе. Коэффициент достижимости по *i*-ой компетенции рассчитывается, как среднее арифметическое данных отношений на множестве базисов B_i:

$$K_{d\,i} = \frac{1}{|\mathrm{B}_i|}\sum_{j=1}^{|\mathrm{B}_i|}\frac{|G_{ij}|}{|R_{ij}|}.$$

В условиях конструирования отдельно взятой компетенции данный критерий может быть рассчитан для максимально возможного числа базисов (3), определяемых на структуре *i*-ой компетенции – с учетом длин всех входящих в них маршрутов L_{ijk} к ЗУН типа «Уметь» и «Владеть»:

$$K^{/}_{d\,i} = \frac{1}{|\mathrm{B}_i|_{\max}}\sum_{j=1}^{|\Theta_i|}\left(\sum_{k=1}^{|\Theta_i/\Theta_{i1}|}\sum L_{ijk}\right).$$

По аналогии с критерием «6», нормированное значение определяется, исходя из интервала «хороших» значений $[a_d;b_d]^g$:

$$\overline{K_{d\,i}} = \begin{cases} 0, K_{d\,i} \le a_d, \\ \dfrac{K_{d\,i}-a_d}{b_d-a_d}, K_{d\,i} \in (a_d;b_d), \\ 1, K_{d\,i} \ge b. \end{cases}$$

8. Ширина *i*-ой компетенции представляет собой число базисов $|\mathrm{B}_i|$ в составе компетенции. Как и в случае критериев «4» и «5», приемлемая ширина компетенции определяется экспертами на интервале «идеальных» значений $[a_w;b_w]^*$. Нормированное в единичный отрезок фактическое значение критерия:

$$\overline{W_i} = \begin{cases} 0, \ |\mathrm{B}_i| = 1, \\ \dfrac{|\mathrm{B}_i|}{a_w}, \ 1 < |\mathrm{B}_i| \le a_w, \\ 1, \ a_w \le |B_i| \le b_w, \\ \dfrac{3b_w - 2a_w - |\mathrm{B}_i|}{2b_w - 2a_w}, \ b_w < |\mathrm{B}_i| < 3b_w - 2a_w, \\ 0, \ |\mathrm{B}_i| \ge 3b_w - 2a_w, \end{cases}$$

По аналогии с предыдущим критерием, в условиях конструирования отдельно взятой компетенции ширина может быть рассчитана для максимально возможного числа базисов *i*-ой компетенции $|\mathrm{B}_i|_{\max}$ (3).

9. Глубина *i*-ой компетенции D_i выражает самую большую из максимальных длин маршрутов на множестве $R_{ij} \in \mathrm{B}_i$, мощность которого равна W_i (см. критерий 8):

$$D_i = \underset{j=1}{\overset{W_i}{Max}}\left[\underset{k=1}{\overset{|R_{ij}|}{Max}}|G_{ijk}|\right].$$

Как и для предыдущего критерия, нормированное значение критерия D_i в единичный отрезок на интервале $[D_{\min}; D_{i\max}]$:

$$\overline{D_i} = 1 - \frac{D_{i\max} - D_i}{D_{i\max} - D_{\min}}.$$

Здесь границы интервала нормирования определяются фиксировано, как минимально и максимально возможное значение глубины на структуре данной компетенции. В случае конструирования отдельно взятой компетенции имеем $D_{\min} = 1$, $D_{i\max} = |\Theta_i\alpha| - 1$. В случае же конструирования кластера компетенций в расчет принимается также исходящих базовый ЗУН: $D_{\min} = 2$, $D_{i\max} = |\Theta_i\alpha|$.

10. Ядерность *i*-ой компетенции J_i представляет собой отношение числа ЗУН $\Theta_i\alpha$, образующих ядро, к мощности компетенции. Как было показано выше, степень по входящим связям $\deg_+$ у образующих ЗУН отлична от нуля ($\deg_+\left(\Theta_i\alpha_j\right)>0$, $j=\overline{1,\left|\Theta_i\alpha\right|}$): $J_i^{\Theta}=\dfrac{\left|\Theta_i\alpha\right|}{\left|\Theta_i\right|}$. Данный критерий также рассчитывается на основе анализа связей как отношение числа ядерных связей $\Sigma_i\alpha$ к ~~числу~~ общему числу связей: $J_i^{\Sigma}=\dfrac{\left|\Sigma_i\alpha\right|}{\left|\Sigma_i\right|}$.

11. Гармоничность *i*-ой компетенции H_i выражает степень равномерности распределения в ее структуре ЗУН всех типов по их числу: $H_i=\dfrac{1}{3}\sum_{j=1}^{3}\theta_{ij}$, где θ_{ij} – нормированная оценка частоты *j*-го типа ЗУН $f_{ij}^{\Theta_i/\Theta_{\beta_i}}$ ($j=\overline{1,3}$), определяемой без учета базовых ЗУН, относительно наилучшего значения 1/3.

12. Значимость *i*-ой компетенции S_i определяется, как средняя степень классификации $\deg_C$ входящих в нее ЗУН по признакам отношения к сущностям предметной области, извлекаемым из ФГОС и РПД:

Возможные направления использования: а) для оценивания множества ЗУН: $S_i^{\Theta}=\dfrac{1}{\left|\Theta_i\right|}\sum_{j=1}^{\left|\Theta_i\right|}\deg_C\left(\Theta_{ij}\right)$, б) для оценивания множества связей берется усредненная степень классификации ЗУН k-го паросочетания: $S_i^{\Sigma}=\dfrac{1}{2\left|\Sigma_i\right|}\sum_{k=1}^{\left|\Sigma_i\right|}\left[\deg_C\left(\Theta_{ik0}\right)+\deg_C\left(\Theta_{ik1}\right)\right]$. В обоих случаях определяется нормированные значения критерия $\overline{S_i^{\Theta}}$ и $\overline{S_i^{\Sigma}}$ в единичный отрезок на интервале $[S_{\min};S_{\max}]$. Как и в случае с критерием «3», комплексная оценка с учетом коэффициентов значимости ЗУН K_S^{Θ} и связей K_S^{Σ} ($K\in R$, $K=\overline{0,1}$, $K^{\Theta}+K^{\Sigma}=1$): $\overline{S_i}=K_S^{\Theta}\overline{S_i^{\Theta}}+K_S^{\Sigma}\overline{S_i^{\Sigma}}$.

13. Коэффициент полезности *i*-ой компетенции K_{Ui} определяется, исходя из экспертных оценок степени полезности U_{ij} ($U_{ij}\in R$, $U_{ij}=\overline{0,10}$) каждого *j*-го ЗУН: $K_{Ui}=\dfrac{1}{10\cdot\left|\Theta_i\right|}\sum_{j=1}^{\left|\Theta_i\right|}U_{ij}$.

14. Коэффициент близости *i*-ой компетенции K_{Vi} определяется, исходя из экспертных оценок степени близости V_{ik} ($V_{ik}\in R$, $V_{ik}=\overline{0,10}$) ЗУН *k*-го паросочетания: $K_{Vi}=\dfrac{1}{10\cdot\left|\Sigma_i\right|}\sum_{k=1}^{\left|\Sigma_i\right|}V_{ik}$.

15. Коэффициент внутренней системности *i*-ой компетенции K_{Ii} определяется, исходя из экспертных оценок степени внутреннего влияния I_{ik} ($I_{ik}\in R$, $I_{ik}=\overline{0,10}$) ЗУН *k*-го паросочетания:

$$K_{Ii}=\frac{1}{10\cdot\left|\Sigma_i\right|}\sum_{k=1}^{\left|\Sigma_i\right|}I_{ik}. \qquad (4)$$

16. Коэффициент внешней системности *i*-ой компетенции K_{Oi} выражает величину влияния ЗУН K_{Oi}^{Θ} и/или связей между ними K_{Oi}^{Σ} на целостность и адекватность компетенции. Комплексная оценка с учетом коэффициентов K_O^{Θ} и K_O^{Σ} ($K\in R$, $K=\overline{0,1}$, $K^{\Theta}+K^{\Sigma}=1$): $K_{Oi}=K_O^{\Theta}K_{Oi}^{\Theta}+K_O^{\Sigma}K_{Oi}^{\Sigma}$.

Отметим, что критерии «15» и «16» могут определяться на множестве всех связей Σ_i, как показано в формуле (4). Однако, возможны варианты вычисления этих коэффициентов на ядре $\Sigma_i\alpha$, либо на множестве, исключающем связи с базовыми ЗУН: $\Sigma_i/\Sigma_i\gamma\alpha$ и т.д. Аналогично, коэффициент внешней системности по ЗУН также может быть рассчитан на разных подмножествах ЗУН компетенции.

Процедура экспертного оценивания. Большинство критериев (кроме двух профориентационных, глубины и ядерности) предполагают использование трех групп экспертных оценок. Для получения этих оценок была разработана процедура экспертного оценивания, включающая следующие пункты.

1. Оценки параметров ЗУН, либо их паросочетаний. Представлены в выражениях критериев «3, 4, 13–16». Во всех случаях, за исключением критерия «3», это десятибалльные оценки в виде вещественных чисел.

2. Парные коэффициенты K^{Θ} и K^{Σ} вещественного типа, причем $K^{\Theta} + K^{\Sigma} = 1$. Выражают значимость экспертных оценок первой группы в отношении ЗУН и паросочетаний в выражениях критериев 3, 12 и 16.

3. Границы интервалов *a* и *b*, на которых оцениваемые параметры принимают либо «идеальное» (критерии «4, 5, 8»), либо «хорошее» (критерии «6, 7») значение. Вещественные числа в соответствующих параметрам единицах измерения.

Интегральное значение целевой функции $F_i(x)$ для *i*-ой компетенции вычисляется как среднее арифметическое *n* фактических значений x_{ij} критериев с учетом весовых коэффициентов их значимости k_j:

$$F_i(x) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} k_j x_{ij},\ F_i(x) \to 1,\ P_i = True. \qquad (5)$$

Разработка оптимизационного алгоритма конструирования компетенции. Алгоритм структурно представлен на рис. 2 и предполагает три стадии оптимизации:

1. Формирование оптимального состава компетенции: из имеющегося в наличии множества (либо подмножества, выбранного по некоторому критерию) ЗУН собрать оптимальный элементный состав компетенции.

2. Формирование оптимальной структуры связей на сформированном оптимальном составе ЗУН: установить между ЗУН, состав которых определен на стадии 1, оптимальную структуру связей.

3. Оптимизация полученной структуры графоаналитическим методом: решения, полученные на стадии 2, оценить при помощи коэффициентов связности и достижимости, а также оценить ширину и глубину компетенции.

Учитывая комбинаторный характер формирования компетенций и многопараметричность оптимизационной задачи, подходящим методом для ее решения можно считать генетические алгоритмы (ГА), которые хорошо себя зарекомендовали при решении подобных NP-сложных задач типа составления расписания (как комбинации мероприятий на пространственно-временной сетке [12] или поиска маршрута как комбинации последовательно расположенных двувершинных графов [6]).

Для реализации ГА используется классическая схема, используемая автором в [12], с таким компонентами (параметрами):

- случайная генерация начальной популяции (с выдерживанием ограничений, накладываемых заданными параметрами:

a) набор ОТФ/ТФ на котором осуществляется отбор ЗУН;

b) интервал допустимой мощности;

c) интервал допустимой глубины;

d) параметры ГА (число поколений, мощность популяции, размер турнирной группы, коэффициент редукции, а также вероятности кроссинговера, инверсии и мутации).

- естественный отбор методом турнирного розыгрыша с размерностью турнирной группы $n_t = 4$ и коэффициентом редукции 0,7;
- парный оператор кроссинговера;
- использование аутбридинга для образования родительских пар;
- «ремонт» испорченных хромосом (не соответствующих заданным параметрам) посредством целенаправленных мутаций;
- формирование нового поколения популяции методом элитного отбора.

Рассмотрим подробно структуру оптимизационной модели, которая представлена на рисунке 2. Базовыми исходными данными для оптимизации являются экспертные оценки. В качестве экспертов были привлечены научно-педагогические сотрудники (далее эксперты-НПС) из разных вузов России в количестве 10 человек.

Экспертные оценки *T, U, V, I* эксперты-НПС оценивали в интерактивном взаимодействии с программной системой, которая была специально разработана для этой цели. Текущие оценки внешней системности O^{Θ} и O^{Σ} оперативно оценивались в процессе конструирования компетенций. Для однократного оценивания границ интервалов «хороших» значений чисто математических характеристик – коэффициентов связности и достижимости (a_s, b_s, a_r, b_r) были привлечены 4 эксперта в области информатики и математики.

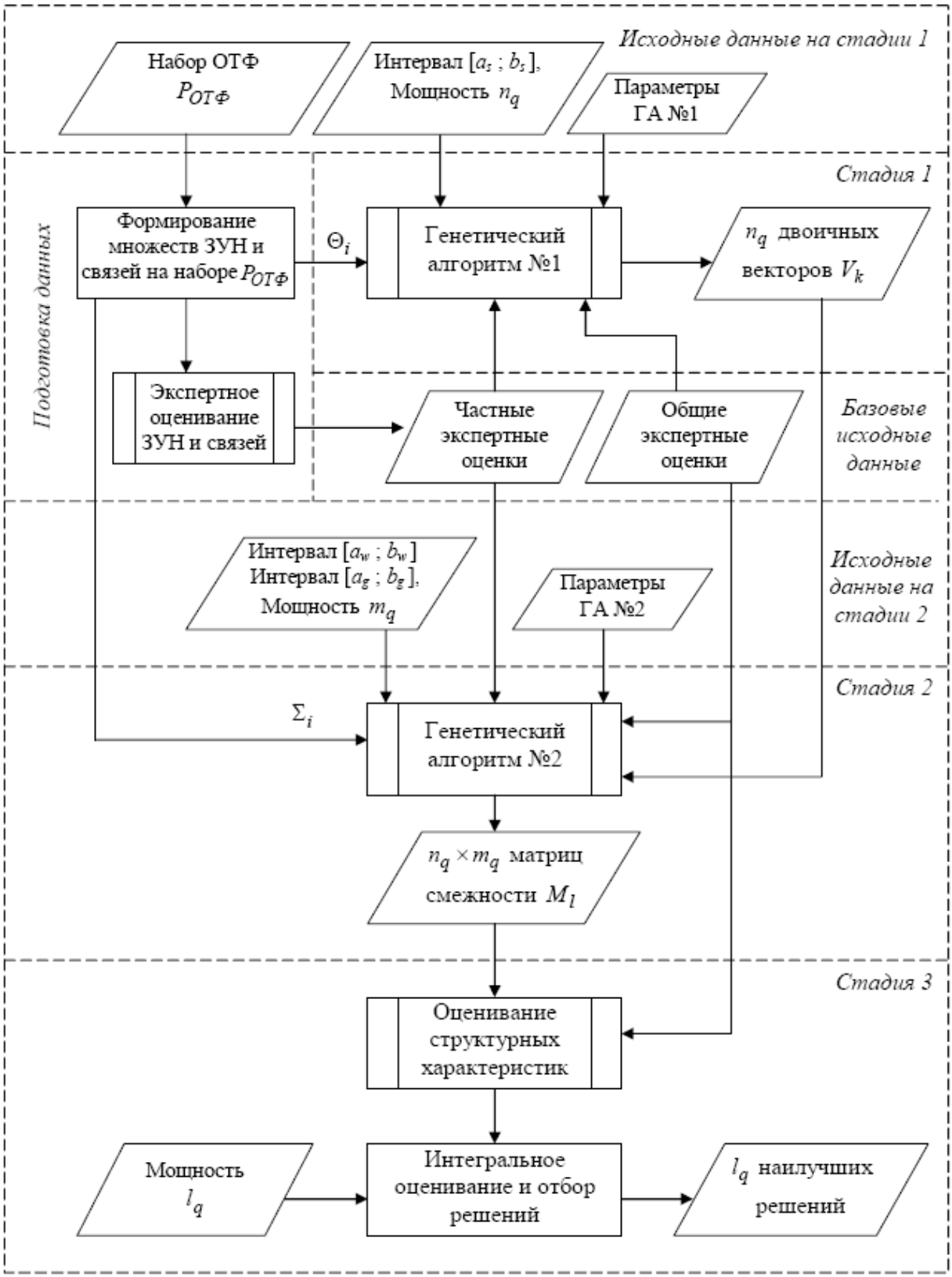


Рисунок 2 – Структурная схема алгоритма конструирования профессиональных компетенций

Все оценки, полученные от множества экспертов, усредняются в соответствии с групповой оценкой:

$$x_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} q_j x_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} q_j}, \quad (6)$$

где n – количество экспертов, задействованных в оценивании i-ой характеристики критериев; x_{ij} – оценки i-ых характеристик j-ыми экспертами, скорректированные на весовые показатели компетентности экспертов $q_j \in [0, 1]$. Оценка весового показателя компетентности j-го эксперта q_j в (6) осуществлялась с использованием дифференциального метода.

Оценка весового показателя определяется по трем коэффициентам, характеризующим следующее: 1) профессиональные качества эксперта; 2) знакомство эксперта с компетентностным подходом к проектированию ОПОП $K_{2j} = O_2/10$; 3) знакомство эксперта с задачей формирования структуры компетенции $K_{3j} = O_3/10$. Здесь O_2 и O_3 – соответствующие самооценки экспертов по 10-ти балльной шкале. Комплексная оценка компетентности эксперта, с учетом коэффициентов сравнительной весомости C, определяемых апостериорно, но априорно принятых равными «1», в этом случае:

$$q_j = \frac{C_1 \cdot K_{1j} + C_2 \cdot K_{2j} + C_3 \cdot K_{3j}}{C_1 + C_2 + C_3}, \quad (7)$$

где K – коэффициенты в долях единицы, C – коэффициенты сравнительной весомости, определяемые апостериорно, но априорно принятые равными «1». Величины K_{1j} вычисляются для экспертов-НПС на основании профессиональной компетентности НПС, алгоритм расчета которой заимствована из работы канд. псих. наук О.В. Ракитиной [16] и реализована в описываемой системе.

На каждой стадии значения целевой функции F_1, F_2, F_3 рассчитываются по формуле (5). По итогам стадии 3 отбирается l_q решений, имеющих наилучшие значения целевой функции по итогам всех трех стадий F_1, F_2, F_3. При этом для каждого kl-го решения вычисляется средняя величина F_{kl}:

$$F_{kl} = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3}, \; F_{kl} \to 1. \quad (8)$$

Исследования оптимизационного алгоритма конструирования компетенции. Для исследования разработанной модели была разработана программная система, главное окно которой показано на рисунке 3. Система разработана на языке Visual Basic и на данный момент ориентирована на локальное применение, однако может быть использовано как сетевое приложение при условии организации сетевого доступа к базе данных.

Параметры ГА задаются отдельно для стадий 1 и 2. Также в конструкторе задаются интервалы допустимых значений мощности, ширины и глубины компетенции. Здесь же задаются числа отбираемых на каждой стадии наилучших решений *Nq*, *Mq*, *Lq*. Результаты работы модели отражаются в правой нижней части области вывода. В диалоговом окне (рис. 4) можно видеть детали полученных решений.

В рассматриваемом выше примере решения задачи была выбрана одна трудовая функция С/01.5, относящаяся к ОТФ «Интеграция программных модулей и компонентов и верификация выпусков программного продукта» профессионального стандарта 06.001 «Программист». Полный перечень компонентов указанной ТФ с групповыми частными экспертными оценками представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Групповые экспертные оценки ЗУН из множества компонентов ТФ С/01.5

Шифр в БД	**Формулировка**	T_{ij}	Q_{Tj}^{Θ}	U_{ij}	O_{ij}^{Θ}
З.1001	Методы и средства сборки модулей и компонент ПО	9,1	7,08	8,47	8,67
З.1002	Интерфейсы взаимодействия с внешней средой	38,2	7,08	9,69	6,43
З.1003	Интерфейсы взаимодействия внутренних модулей системы	25,0	7,08	9,59	8,71
З.1004	Методы и средства разработки процедур для развертывания ПО	11,5	7,08	7,88	8,67
З.1005	Методы и средства миграции и преобразования данных	25,7	7,08	4,83	7,00
З.1006	Языки, утилиты и среды программирования, средства пакетного выполнения процедур	35,7	7,08	9,27	9,67

Продолжение таблицы 2

У.998	Писать программный код процедур интеграции программных модулей	20,9	7,64	9,59	9,50
У.999	Использовать выбранную среду программирования для разработки процедур интеграции программных модулей	15,8	7,64	8,29	5,63
У.1000	Применять методы и средства сборки модулей и компонентов ПО, разработки процедур для развертывания ПО, миграции и преобразования данных, создания программных интерфейсов	48,9	7,64	7,25	8,88
Н.993	Разработка и документирование программных интерфейсов	37,6	8,23	8,41	9,21
Н.994	Разработка процедур сборки модулей и компонентов программного обеспечения	58,3	8,23	8,74	8,91
Н.995	Разработка процедур развертывания и обновления ПО	41,4	8,23	9,12	9,21
Н.996	Разработка процедур миграции и преобразования (конвертации) данных	42,6	8,23	6,83	6,59
Н.997	Оценка и согласование сроков выполнения поставленных задач	37,1	8,23	7,10	8,15

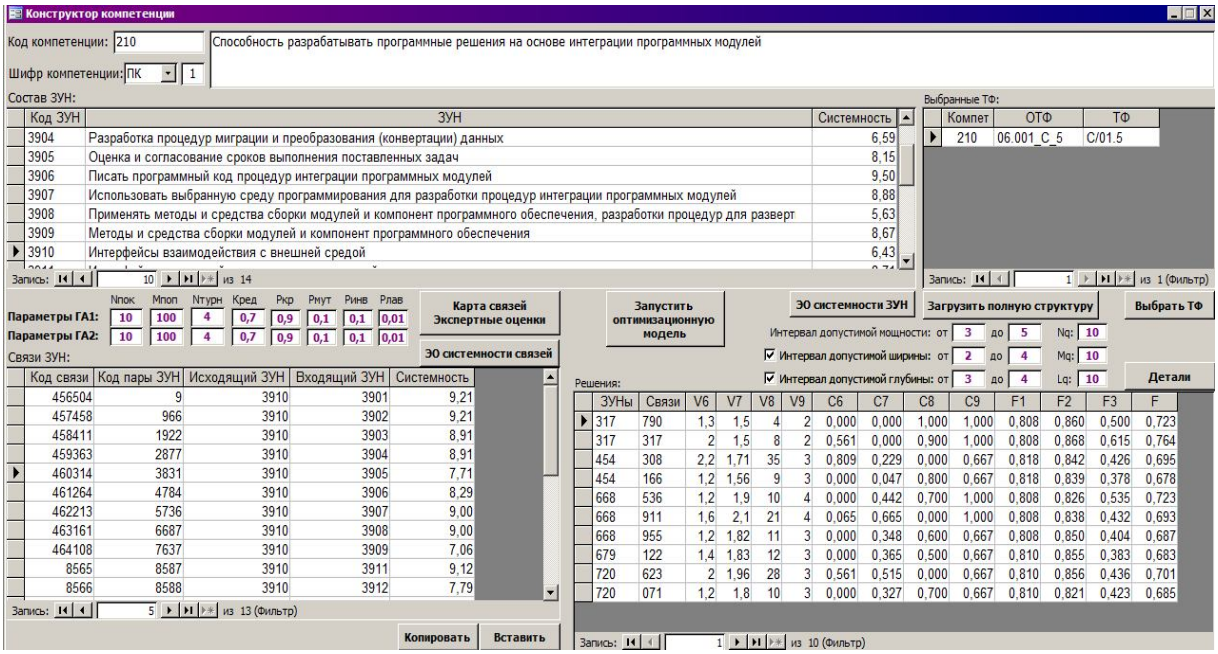


Рисунок 3– Главное окно конструктора профессиональной компетенции

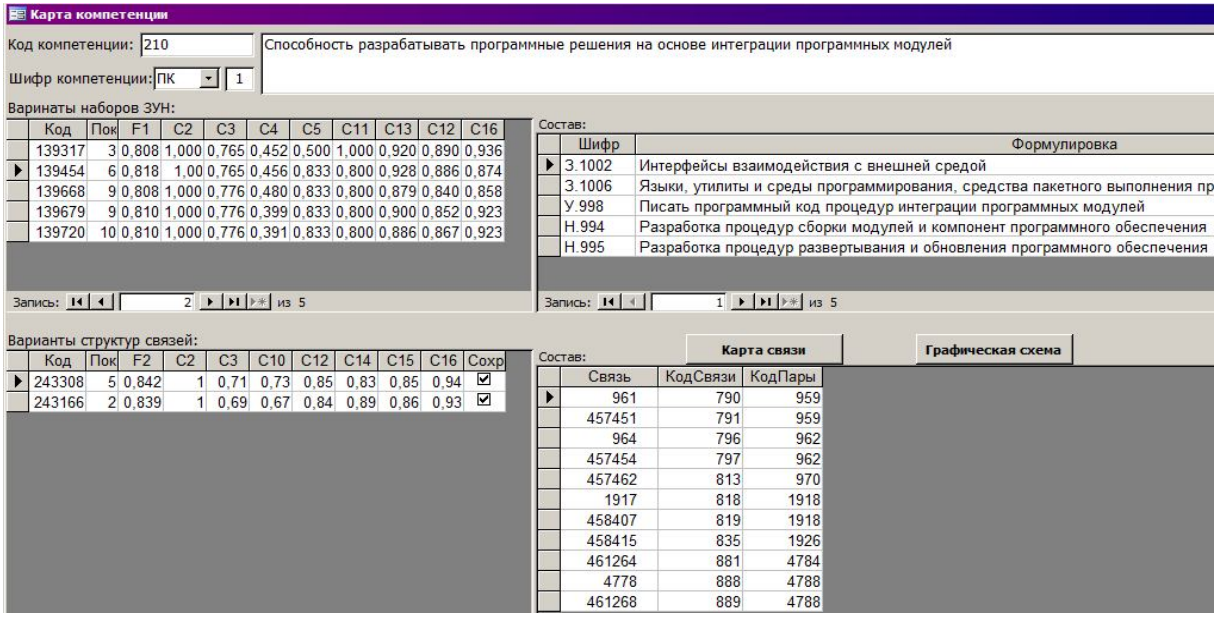


Рисунок 4 – Журнал сконструированных профессиональных компетенций

Экспертное оценивание частных параметров 14 ЗУН и 182 возможных связей осуществили три предметных эксперта из числа ППС, компетентных в области данного профессионального стандарта. Апостериори установлено, что на экспертизу одного паросочетания ЗУН эксперту требуется от 30 до 40 секунд.

В общей сложности в умеренном рабочем режиме проведение экспертизы заняло четыре рабочих дня у каждого эксперта.

При задании начальных значений для реализации оптимизационной модели были определены стандартные значения параметров ГА. Число поколений для ГА № 1 (ГА, выполняющийся на стадии 1) было выбрано равным 10 – ввиду того, что на большем числе поколений ГА № 1 сходится к единообразным наилучшим решениям и дает в итоге не более двух вариантов наборов ЗУН при любом заданном *Nq*. Интервал допустимых значений мощности компетенций был установлен от 3 до 5. Также были установлены ограничения на ширину (от 2 до 4) и глубину (от 3 до 4) для каждой из компетенций. Число наилучших решений, отбираемых по окончании каждой из трех стадий оптимизации, было установлено равным 10.

Время выполнение программы, реализующей оптимизационную модель с указанными параметрами, на машине с процессором Intel Core i5-3330 3,00 GHz, RAM 4,00 GB под управлением операционной системы Windows 7 составило 5 минут, в том числе 20 секунд длилась стадия №1 и одну секунду стадия № 3. В результате работы ГА были получены следующие 10 вариантов, показанные в правой нижней области вывода на рисунке 3 и продублированные в таблице 3. Варианты в таблице упорядочены по убыванию значения интегрального критерия эффективности, рассчитанного по формуле (8). Решения сгенерированы на основе пяти вариантов наборов ЗУН, которые можно видеть на рисунке 4 в левой верхней области вывода вместе со значениями частных критериев и значением интегрального критерия F1.

Таблица 3 – Числовые оценки вариантов сконструированных компетенций

№№ варианта, схемы	**Фактические оценки**				**Нормированные оценки**				**Интегральные оценки**			
	V6	**V7**	**V8**	**V9**	**C6**	**C7**	**C8**	**C9**	**F1**	**F2**	**F3**	**F**
1, а	2,00	1,50	8	2	0,56	0	0,9	1	0,8079	0,868	0,615	**0,764**
2, в	1,20	1,90	10	4	0	0,44	0,7	1	0,8083	0,826	0,535	**0,723**
3, б	1,33	1,50	4	2	0	0	1	1	0,8079	0,860	0,500	**0,723**
4	2,00	1,96	28	3	0,56	0,52	0	0,67	0,8096	0,856	0,436	**0,701**
5, д	2,20	1,71	35	3	0,81	0,23	0	0,67	0,8179	0,842	0,426	**0,695**
6, г	1,60	2,10	21	4	0,06	0,67	0	1	0,8083	0,838	0,432	**0,693**
7	1,20	1,82	11	3	0	0,35	0,6	0,67	0,8083	0,850	0,404	**0,687**
8	1,20	1,80	10	3	0	0,33	0,7	0,67	0,8096	0,820	0,423	**0,685**
9	1,40	1,83	12	3	0	0,37	0,5	0,67	0,8105	0,855	0,383	**0,683**
10, е	1,20	1,56	9	3	0	0,04	0,8	0,67	0,8179	0,839	0,378	**0,678**

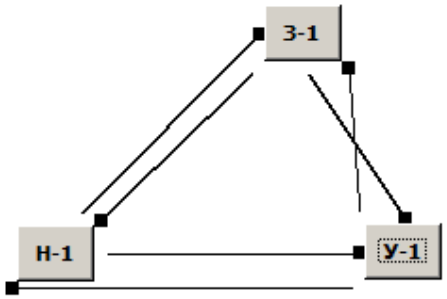
В форме «Карты компетенций» (рис. 4) также имеется функция формирования графической модели для выбранного варианта компетенции, которая выводится в отдельном окне. В данном окне имеются возможности изменения топографического расположения элементов компетенций для улучшения восприятия ее структуры, а также сохранения этого расположения в БД для использования при последующей загрузке. Примеры схем некоторых сгенерированных решений представлены на рисунке 5. В таблице 3 номера вариантов, показанных на рисунке 5, дополнены номером соответствующего подрисунка. Аналогично варианты пронумерованы и в таблице 4, где показан состав каждого варианта ЗУН с указанием мнемонического обозначения на схеме (рис. 4). Также в таблице 4 показаны номера вариантов наборов ЗУН (в порядке их следования на рисунке 4), на базе которых сформированы структуры. В нижней части таблицы 4 для каждого варианта приведены значения мощности и числа связей в структуре.

Таблица 4 – Структурные характеристики вариантов сконструированных компетенций

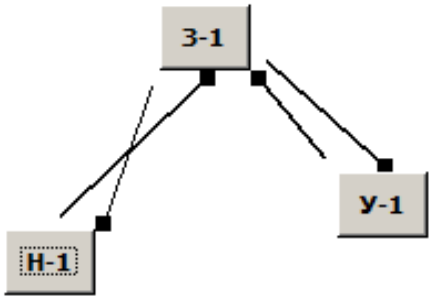
№ варианта	1, а	2, в	3, б	4	5, д	6, г	7	8	9	10, е
№ набора ЗУН	1	3	1	5	2	3	3	5	4	2
Шифр ЗУН	Обозначение ЗУН на графической структурной схеме									
З.1002					З-1					З-1
З.1006	З-1	З-1	З-1	З-1	З-2	З-1	З-1	З-1	З-1	З-2
У.998	У-1	У-1	У-1	У-1	У-1	У-1	У-1	У-1	У-1	У-1
У.999				У-2				У-2	У-2	
У.1000		У-2				У-2	У-2			

Продолжение таблицы 4

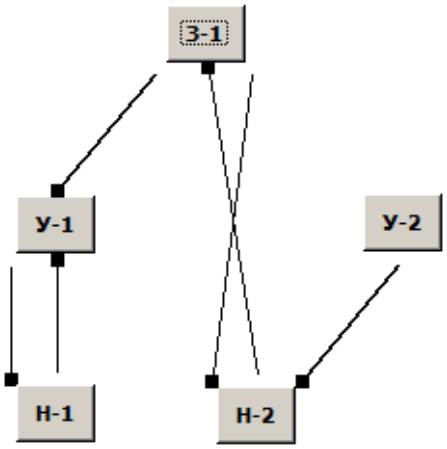
Н.993				Н-1				Н-1		
Н.994	Н-1	Н-1	Н-1	Н-2	Н-1	Н-1	Н-1	Н-2	Н-1	Н-1
Н.995		Н-2			Н-2	Н-2	Н-2		Н-2	Н-2
Число ЗУН	3	5	3	5	5	5	5	5	5	5
Число связей	6	6	4	10	11	8	6	6	7	6



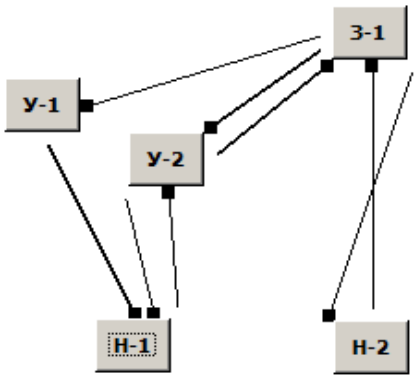
а) Вариант 1



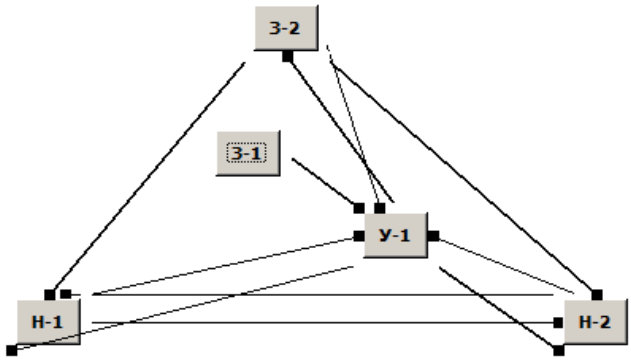
б) Вариант 3



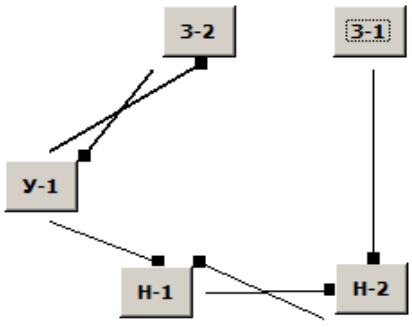
в) Вариант 2



г) Вариант 6



д) Вариант 5



е) Вариант 10

Рисунок 5 – Структурные схемы некоторых сконструированных вариантов компетенции

Из содержимого столбца F1 таблицы 3 видно, что решения, полученные на стадии 1 уже на 10 поколениях практически сошлись к одному уровню качества. Варианты 1 и 3 (рис. 5, а и б) сформированных на наборе из трех ЗУН (отмечен как набор № 1 в таблице 4), и оказались на верхних позициях в основном за счет высокого значения F3. Вариант 1 также имеет максимальное значение F2. Этот вариант включает в себя предельно возможное число связей. Отсюда получаются максимально возможные (для данного числа ЗУН) значения V6–V9 (см. табл. 3).

Вторую позицию в рейтинге вариантов компетенций занимает набор ЗУН № 3. Этот вариант качественно отличается от своих «родственников», сформированных на этом же наборе – вариантов 6 и 7 – также по критерию F3 за счет более гармоничной структуры (сравнить рисунок 5, в и г.), что численно выражается в близости к идеальным значениям показателей V8 и V9, и, следовательно, в высоких значениях критериев C8 и C9.

Вариант 5 показан на рисунке 5д, как вариант с максимальным числом связей, откуда следуют максимальные значения структурных коэффициентов V6 и V7. Также немаловажно, что он сформирован на базе самого качественного набора ЗУН № 2 (с максимальным значением F1). На этом же наборе сформирован и последний в рейтинге вариант 10 (рис. 5, е). За счет малого числа связей он сильно проигрывает по значениям структурных коэффициентов.

Заключение. Проведенные исследования показали, что качество компетенции зависит не только от насыщенности ее внутренней структуры связями, но и от ее гармоничности. Впрочем, не исключено, что это справедливо только в данном частном случае для ЗУН с сильными семантическими связями, а для получения более точных результатов следует провести испытания на более разнообразных наборах исходных данных. В целом получены удовлетворительные результаты исследования, которые свидетельствуют о корректной предлагаемой методики, обладающей значительной новизной. Последняя заключается в применении эволюционных методов многопараметрической оптимизации к конструированию профессиональных компетенций на основе профессиональных стандартов – с учетом разнородных частных критериев качества компетенции (это сделано впервые).

Получила дальнейшее развитие и методика оптимального конструирования структурных моделей на основе ГА за счет применения технологии трехэтапной оптимизации. В ней как один из основных критериев качества рассматривается интегральная характеристика гармоничности структуры.

Кроме того, предложенная методика включает новую, научно обоснованную модель группового экспертного оценивания. В отличие от существующих подобных моделей, данная модель, в силу особенностей предметной области, включает алгоритм расчета научно-исследовательской компетентности на основе профессиональных характеристик экспертов. Этот показатель, в совокупности с данными самооценки экспертов, определяет их компетентность в предмете экспертизы.

Вместе с тем, значительное многообразие разработанных критериев вызывает справедливые замечания о целесообразности исследования вопросов об их «необходимости и достаточности», возможно – об оценке избыточности (с учетом влияния критериев на процедуру конструирования образовательных программ и на качество образовательного процесса в целом).

Также продолжающиеся исследования предполагают дальнейшее развитие процедуры автоматизированной экспертизы проектируемой структуры компетенций в интерактивном режиме за счет разработки базы знаний, накапливающей опыт экспертов в оценивании. На основе этой базы знаний целесообразно разработать экспертную систему поддержки принятия решений, предварительная архитектура которой представлена в статье [13].

Список литературы

1. Болонский процесс: поиск общности европейских систем высшего образования (проект TUNING). – Москва : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2006. – 211 с.

2. Брумштейн Ю. М. Математические модели для оптимизации планирования набора дисциплин по направлениям подготовки выпускающей кафедры вуза на основе компетентностного подхода к обучению / Ю. М. Брумштейн // Известия ВолгГТУ, серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». – 2015. – № 6 (163). – С. 95–102.

3. Выявление состава компетенций выпускников вузов как необходимый этап проектирования ГОС ВПО нового поколения : методическое пособие. – Москва : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2006. – 72 с.

4. Зимняя И. А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата образования / И. А. Зимняя // Высшее образование сегодня. – 2003. – № 5. – С. 34–42.

5. Ильин Д. Ю. Информационно-аналитический сервис формирования актуальных профессиональных компетенций на основе патентного анализа технологий и выделения профессиональных навыков в вакансиях работодателей / Д. Ю. Ильин, Е. В. Никульчев, Г. Г. Бубнов, Е. О. Матешук // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологи. – 2017. – № 2 (38). – С. 71–88 (http://hi-tech.asu.edu.ru/files/2(38)/71-88.pdf).

6. Кочегурова Е. А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений / Е. А. Кочегурова, Ю. А. Мартынова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2013. – Т. 323, № 5. – С. 79–84.

7. Крохалева А. Б. Технология формирования показателей профессиональной готовности специалистов на современном рынке труда : монография / А. Б. Крохалева, В. М. Белов. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2017. – 152 с.

8. Методические рекомендации по разработке ООП и ДПП с учетом соответствующих профессиональных стандартов, от 22 января 2015 г. № ДЛ-1/05вн. – Режим доступа: docs.cntd.ru/document/420264612 (дата обращения 21.12.2017), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

9. Мягкий путь вхождения российских вузов в Болонский процесс. – Москва : ОЛМА-ПРЕСС, 2005. – 352 с.

10. Российская Федерация. О внесении изменений в трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 федерального закона «Об образовании в РФ» от 2 мая 2015 г. : федеральный закон № 122-ФЗ : [принят Государствен-

ной Думой 24 апреля 2015 г. ; одобрен Советом Федерации 29 апреля 2015 г.] // КонсультантПлюс. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_178864/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

11. Российская едерация. О мероприятиях по реализации государственной социальной политики от 7 мая 2012 г. : указ президента России № 597. – Режим доступа: http://минобрнауки.рф/документы/ (дата обращения 17.05.2017 г.), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

12. Омельченко А. А. Генетический алгоритм составления оптимального плана реализации компьютерной техники / А. А. Омельченко, А. Н. Полетайкин // Вопросы прикладной математики и математического моделирования : сб. науч. тр. / ред. кол. О. Г. Киселева (глав. ред.) и др. – Днепропетровск : Днепропетр. нац. ун-т, 2010. – С. 221–231.

13. Полетайкин А. Н. Информационная система управления образовательным процессом в высшей школе / А. Н. Полетайкин, Т. С. Ильина // Вестник СибГУТИ. – 2016. – № 2. – С. 38–50.

14. Полетайкин А. Н. Системный подход к моделированию и количественному измерению образовательных компетенций / А. Н. Полетайкин, Т. С. Ильина, С. А. Белоус // Обработка информации и мат. моделирование : материалы Рос. науч.-техн. конф. – Новосибирск, 2016. – С. 275–284.

15. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов. – Режим доступа: http://fgosvo.ru (дата обращения 21.11.2017 г.), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

16. Ракитина О. В. Научно-исследовательская компетентность преподавателей высшей школы: методы диагностики, результаты исследования / О. В. Ракитина // Высшая школа на современном этапе: проблемы преподавания и обучения : материалы региональной науч.-мет. конф. – 2014. – С. 125–130.

17. Рекомендации по актуализации действующих федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования с учетом принимаемых профессиональных стандартов от 22.01.2015 г. № ДЛ-2/05вн. – Режим доступа: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_175196/ (дата обращения 24.12.2017 г.), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

18. Сибикина И. В. Оценка уровня сформированности компетенции студента вуза на примере графовой модели / И. В. Сибикина, И. М. Космачева, И. Ю. Квятковская // Вестн. Саратов. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 2, № 1. – С. 179–185.

19. Татур Ю. Г. Компетентностный подход в описании результатов и проектировании стандартов высшего профессионального образования : материалы ко второму заседанию методологического семинара. – Москва : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2004.

20. Тоффлер Э. Шок будущего / Э. Тоффлер. – Москва : АСТ, 2002. – 557 с.

21. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 09.03.03 Прикладная информатика (уровень бакалавриат). Проект. 2017. С. 21. – Режим доступа: regulation.gov.ru (дата обращения 7.11.2017).

References

1. Bolonskiy protsess: poisk obshchnosti yevropeyskikh sistem vysshego obrazovaniya (proekt TUNING) [Bologna process: the search for a common European system of higher education (project TUNING)]. *Issledovatelskiy tsentr problem kachestva podgotovki specialistov* [Research Center for Quality Problems in Training of Specialists], Moscow, 2006. 211 p.

2. Brumshteyn Yu. M. Matematicheskie modeli dlya optimizatsii planirovaniya nabora distsiplin po napravleniyam podgotovki vypuskayushchey kafedry vuza na osnove kompetentnostnogo podkhoda k obucheniyu [Mathematical models for optimizing the planning of a set of disciplines in the areas of preparation of the graduating department of the university on the basis of a competence approach to learning]. *Izvestiya VolgGTU, seriya «Aktualnye problemy upravleniya, vychislitelnoy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh»* [Actual Problems of control, Computer Technology and Computer Science in Technical Systems], 2015, no. 6 (163), pp. 95–102.

3. *Vyyavlenie sostava kompetentsiy vypusknikov vuzov kak neobkhodimyy etap proektirovaniya GOS VPO novogo pokoleniya* [Identifying the composition of competencies of graduates of higher educational institutions as a necessary stage of designing a new generation of the State Educational Institution of Higher Professional Education], Moscow, Issledovatelskiy tsentr problem kachestva podgotovki spetsialistov Publ., 2006. 72 p.

4. Zimnyaya I. A. Klyuchevye kompetentsii – novaya paradigma rezultata obrazovaniya [Key competences – a new paradigm of the result of education]. *Vysshee obrazovanie segodnya* [Higher Education Today], 2003, no. 5, pp. 34–42].

5. Ilin D. Yu., Nikulchev Ye. V., Bubnov G. G., Mateshuk Ye. O. Informatsionno-analiticheskiy servis formirovaniya aktualnykh professionalnykh kompetentsiy na osnove patentnogo analiza tekhnologiy i vydeleniya professionalnykh navykov v vakansiyakh rabotodateley [Informational and analytical service of formation of actual professional competences on the basis of patent analysis of technologies and allocation of professional skills in vacancies of employers]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 2 (38), pp. 71–88 (http://hi-tech.asu.edu.ru/files/2(38)/71-88.pdf).

6. Kochegurova Ye. A., Martynova Yu. A. Optimizatsiya sostavleniya marshrutov obshchestvennogo transporta pri sozdanii avtomatizirovannoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy [Optimization of the compilation of public transport routes in the creation of an automated decision support system]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzheniring georesursov* [Izvestia of Tomsk Polytechnic University. Engineering of Georesources], 2013, vol. 323, no. 5, pp. 79–84.

7. Krokhaleva A. B., Belov V. M. *Tekhnologiya formirovaniya pokazateley professionalnoy gotovnosti spetsialistov na sovremennom rynke truda* [echnology of forming indicators of professional readiness of specialists in the modern labor market], Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2017. 152 p.

8. *Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke OOP i DPP s uchetom sootvetstvuyushchikh professionalnykh standartov, ot 22 yanvarya 2015 g. № DL-1/05vn* [Methodological recommendations on the development of OOP and DPP, taking into account the relevant professional standards, from January 22, 2015 no. DL-1/05vn]. Available at: docs.cntd.ru/document/420264612 (accessed 21.12.2017).

9. *Myagkiy put vkhozhdeniya rossiyskikh vuzov v Bolonskiy protsess* [The soft way of entering Russian universities in the Bologna process], Moscow, OLMA-PRESS Publ., 2005. 352 p.

10. Russian Federation. On Amendments to the Labor Code of the Russian Federation and Articles 11 and 73 of the Federal Law" On Education in the Russian Federation "of 02.05.2015 Federal Law no. 122-FL. Adopted by the State Duma on April 24, 2015, Federation Council approved April 29, 2015. Available at: http://fgosvo.ru (accessed 21.12.2017).

11. Russian Federation. About actions on realization state social politicians of May 7, 2012. The decree of the President of Russia no. 597. Available at: http://minobrnauki.rf/dokumenty/4716 (accessed 17 May 2017).

12. Omelchenko A. A., Poletaykin A. N. Geneticheskiy algoritm sostavleniya optimalnogo plana realizatsii kompyuternoy tekhniki [Genetic algorithm for compiling an optimal plan for the implementation of computer technology]. *Voprosy prikladnoy matematiki i matematicheskogo modelirovaniya* [Problems of Applied Mathematics and Mathematical Modeling], Dnepropetrovsk, Dnepropetrovsk National University Publishing House, 2010, pp. 221–231.

13. Poletayikin A. N., Ilina T. S. Informatsionnaya sistema upravleniya obrazovatelnym protsessom v vysshey shkole [Information system of educational process management for higher educational institution]. *Vestnik SibGUTI* [Bulletin of the SibSUTIS], 2016, no. 2, pp. 38–50.

14. Poletayikin A.N., Il'ina T.S., Belous S.A. Sistemnyi podhod k modelirovaniyu i kolichestvennomu izmereniyu obrazovatel'nyh kompetencij [System approach to modeling and quantitative assessment of educational competencies]. *Obrabotka informatsii i mat. modelirovanie: materialy Ros. nauch.-tekhn. konf.* [Information Processing and Mathematical Modeling. Proceedings of Russian Scientific and Technical Conference], Novosibirsk, 2016, pp. 275–284.

15. *Portal Federalnykh gosudarstvennykh obrazovatelnykh standartov* [Portal of Federal State Educational Standards]. Available at: http://fgosvo.ru (accessed 21.11.2017).

16. Rakitina O. V. Nauchno-issledovatelskaya kompetentnost prepodavateley vysshey shkoly: metody diagnostiki, rezultaty issledovaniya [Research competence of high school teachers: diagnostic methods, research results]. *Vysshaya shkola na sovremennom etape: problemy prepodavaniya i obucheniya : materialy regionalnoy nauch.-met. konf.* [Higher School at the Present Stage: Problems of Teaching and Learning. Proceedings of the Regional Scientific and Methodological Conference], 2014, pp. 125–130.

17. Recommendations on actualizations acting federal state educational standards of higher education with provision for taken professional standards from 22.01.2015 no. DL-2/05vn. Available at: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_175196/ (accessed 21.12.2017).

18. Sibikina I. V., Kosmacheva I. M., Kvyatkovskaya I. Yu. Otsenka urovnya sformirovannosti kompetentsii studenta vuza na primere grafovoy modeli [Assessment of the level of competence of the student of the university on the example of a graph model]. *Vestn. Saratov. gos. tekhn. un-ta* [Bulletin of the Saratov State Technical University], 2014, vol. 2, no. 1, pp. 179–185.

19. Tatur Yu. G. *Kompetentnostnyy podkhod v opisanii rezultatov i proektirovanii standartov vysshego professionalnogo obrazovaniya* [Competence approach in describing results and designing standards for higher professional education], Moscow, 2004.

20. Toffler E. H. *Shok budushchego* [Shock of the Future], Moscow, 2002. 557 p.

21. Federal state educational standard of higher education in the direction of training 09.03.03 Applied computer science (level bachelor). Project, 2017. pp. 21. Available at: regulation.gov.ru (accessed 7 November 2017).

РЕДАКЦИОННЫЙ КОММЕНТАРИЙ К СТАТЬЕ

Актуальность данной статьи, посвященной методике конструирования профессиональных компетенций на основе требований ФГОС 3++, не вызывает сомнений, т.к. соответствующие задачи уже в ближайшее время придется решать всем вузам России. При этом вопросы оптимизации принимаемых решений действительно могут иметь ключевое значение для обеспечения качества учебного процесса.

Статья включает в себя математический аппарат, иллюстративные графические материалы, таблицы с характеристиками критериев, описания использованных алгоритмов, результаты исследования их результативности на основе специально разработанного программного средства. Рубрикация статьи выполнена с помощью заголовков разделов, адекватных содержанию работы. Однако по работе целесообразно сделать следующие замечания.

1. Выбранное авторами название статьи следует считать спорным. Фактически в работе речь идет об информационной поддержке принятия решений в определенной предметной области с использованием разработанного авторами программного средства, основанного на предлагаемой в работе модели.

2. Если бы в статью был включен полноценный литературный обзор по теме работы, то это, безусловно, улучшило бы ее качество. Видимо авторы не сделали этого ради уменьшения объема публикации.

3. В работе ощущается отсутствие сравнений результативности использованных авторами алгоритмов с другими алгоритмами (методами), которые потенциально могут быть использованы для решения тех же задач.

4. В ряде фрагментов текста работы нет строгости в математическом описании (например, для некоторых предлагаемых частных критериев).

5. Авторы работы правильно отмечают, что выбранный набор частных критериев нуждается в обосновании их «необходимости и достаточности».

6. Приведенный в статье пример работы разработанного авторами программного средства представляется недостаточно полным (информативным), по крайней мере, с точки зрения специалистов-практиков, которым придется решать аналогичные задачи.