

УДК 378.2:004.8
DOI: 10.25559/SITITO.17.202103.684-696

Научная статья

Оценка баланса учебных планов при подготовке специалистов в области информационных технологий с применением метода UGVA

В. А. Углев

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Филиал в г. Железногорске, Российская Федерация
662971, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Кирова, д. 12а
uglev-v@yandex.ru

Аннотация

В данной статье поднимается вопрос о необходимости иметь методологический подход к сравнению, оценке и актуализации учебных планов при подготовке специалистов в области информационных технологий. В качестве объекта выбрана специальность «Информатика и вычислительная техника», преподаваемая в университетах Российской Федерации. Сведены данные и проанализированы 73 учебных плана. В качестве подхода по концентрации данных и визуализации выбран метод Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA). Предложена модель балансировки нагрузки в структуре учебного плана рассматриваемой специальности. На графических образах учебных планов выявлены особенности подготовки студентов и лучшие практики. Для программ подготовки оценен баланс и рассмотрены проблемные аспекты. В частности, было показано, что почти все программы подготовки имеют недостаточный объем учебной нагрузки по направлению общей и фундаментальной информатике, а также недостаточно плотно сотрудничают с региональными отраслевыми партнерами. Опираясь на сравнение выбранного учебного плана с другими, представленными в виде образов в нотации UGVA, предложен ряд рекомендаций, относящийся к изменению структуры вклада дисциплин, развивающих ключевые профессиональные умения.

Ключевые слова: ИТ-образование, балансировка, учебный план, образовательный цифровой след, когнитивная графика, лица Чернова, метод UGVA

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Углев, В. А. Оценка баланса учебных планов при подготовке специалистов в области информационных технологий с применением метода UGVA / В. А. Углев. – DOI 10.25559/SITITO.17.202103.684-696 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2021. – Т. 17, № 3. – С. 684-696.

© Углев В. А., 2021



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Evaluate Curricula Balance for Software Engineering Education with using UGVA Method

V. A. Uglev

Branch of Siberian Federal University, Zheleznogorsk, Russian Federation
12a Kirov St., Zheleznogorsk 662971, Krasnoyarsk Krai, Russian Federation
uglev-v@yandex.ru

Abstract

In these article deals with a methodological approach to comparing, evaluating and updating curricula in software engineering and computing. We describe the results of an analysis of seventy-three curricula for the Russian academic major "Informatics and Computing". For data concentration and visualization, we used the Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA) method. We propose a model of balancing the learning load in the curricula. The images created using the described method allowed us to summarize curricula evaluation data, identify the differences in teaching students and best practices. In particular, it was found that most of the curricula have an insufficient number of hours devoted to courses for general and fundamental information theory and the cooperation with regional employers is low. Based on a comparison of the selected curriculum with others presented in the form of images in UGVA notation, we developed recommendations on changing the curriculum structure regarding courses developing key professional skills.

Keywords: IT-education, curriculum balancing, digital learning footprint, cognitive visualization, Chernoff faces, UGVA method

The author declares no conflict of interest.

For citation: Uglev V.A. Evaluate Curricula Balance for Software Engineering Education with using UGVA Method. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021; 17(3):684-696. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202103.684-696>



Введение

Массовая подготовка специалистов высшей категории в области технических наук, и особенно информационных технологий, предполагает постоянный пересмотр учебных планов и их актуализацию. В связи с достаточно большим числом параметров и высокой вариативностью для обучаемых, представление и анализ совокупности таких данных помогает эффективно применять средства когнитивной визуализации. Особенно это актуально в случае, когда первичное обследование образовательного ландшафта сопряжено со сложностями на доступ к первичной информации, ограничиваясь нормативными документами самого общего уровня, т.е. учебными планами. Рассмотрим в качестве объекта анализа и актуализации содержание учебных планов по специальности «Информатика и вычислительная техника» на примере 73 программ подготовки с целью оценки их структурного баланса, сравнения и выявления фрагментов для актуализации содержания документа.

В России студенты и аспиранты выбирают свою специальность (направление обучения) во время зачисления. Основные учебные программы разрабатываются преподавателями для каждой специальности и профиля подготовки, который они преподают; курсы, которые можно свободно выбрать, составляют около 12% от учебной нагрузки по дисциплинам у студентов бакалавриата и 17% от нагрузки по дисциплинам студентов магистратуры. Курсы для выбора студентами предоставляются в группах, преподаваемых в определенном семестре, из которых каждый студент должен выбрать один курс. Это делает анализ и разработку учебных программ сложным и важным процессом для профессорско-преподавательского состава. Учебные планы, как официальные документы, согласно установленным министерством науки и образования РФ правилам, должен размещаться в открытом доступе на сайте каждого университета.

Задача автоматизации анализа компонентов учебных планов базируется на том, что отдельные дисциплины включают в себя массивы дидактического материала, которые соотносятся с раскрываемыми в них знаниями и аффилированными с ними компетенциями. Каждая дисциплина характеризуется набором параметров, такими как часы (зачетные единицы/кредиты), форма контроля (зачет/экзамен), принадлежность семестру и пр. Кроме того, важно учитывать обязательность изучения дисциплины, т.к. она может принадлежать базовой части (обязательна для изучения), вариативной части (может быть заменена альтернативными дисциплинами иной специализации) или быть факультативной (изучаться по желанию). Нормативными основаниями для формирования содержания учебного плана является одновременно и общие требования Министерства образования к соответствующему направлению подготовки (федеральные государственные образовательные стандарты), и описание требований к профессиям от Министерства труда (профессиональные стандарты), и запросы региональных отраслевых работодателей. Если лицо,

принимающее решение, попытается оценить такой план на предмет баланса учебной нагрузки или сравнить два и более плана, то получится, что данных для принятия решений они содержат одновременно и много (планы будут иметь различное содержание) и мало (более подробная информация в публичной зоне на сайтах университетов не размещается в открытом доступе). Следовательно, нужны методы обобщения и оценки. Под балансом здесь и далее будем понимать определенное соотношение (степень соизмеримости) вклада учебных дисциплин, отражающее вклад в специальность определенными характеристиками (ключевые профессиональные умения) будущей профессии.

Подходы к анализу учебных планов в области информационных технологий¹ рассмотрены в работах [1-5] и многих других. Их особенность заключается в том, что они базируются на достаточно подробной компетентностной модели [6; 7] (особенно, если применен подход CDIO [8]), детальной информации из цифрового образовательного следа (например, подход Learning Cell [9]) или данных о запросах рынка труда [10]. Но если посмотреть массивы имеющихся учебных планов, данные о которых недостаточно информативны, то требуется сравнивать их «как есть», ограничиваясь общими данными (которые формализованы и достаточно разнородны). Особенно это важно для проведения первичного анализа учебного плана в сравнении с конкурирующими планами в образовательном поле. По этой же причине выделение ключевых умений (обобщенных областей знаний, где должен быть компетент выпускник), ведется не по образовательному стандарту или требованиям трудовых функций, а исходя из сущности получаемой профессии (определяется экспертно для каждой профессии или направления подготовки).

Сравнение массива учебных планов, концентрируя данные о них в многофакторном пространстве, можно с помощью методов искусственного интеллекта из раздела Graph Mining [11] (начиная от алгоритмов типа k-means и заканчивая эластичными картами [12]). Но представление целого учебного плана в виде точки факторного пространства не позволяет судить о балансе его содержимого или иметь интерпретируемое основания для сравнения разных документов. Поэтому обратимся к такому подходу, как лица Чернова [13].

Суть метода лиц Чернова, заключается в том, чтобы вектор разнородных характеризующих количественных и качественных оценок признаков, представить в виде параметров для графических фигур-примитивов (координат, углов, длин и пр.), составляющих в совокупности цельный образ. Закодировав таким образом данные об объекте, удаётся его визуализировать и, за счет этого, решать задачи диагностики и сравнения. Герман Чернов взял за основу своего подхода лицо человека, выделив 18 признаков и добываясь некоторой «эмоциональности» и симметрии образа. В последующих работах число признаков, кодируемых в виде лица выросло (например, уже в [14] приводится 36 признаков).

Но если объект сложный, то лицо стало недостаточно информативным и возникла проблема по дальнейшему повышению

¹ Лавлинская О. Ю., Курченкова Т. В. Модели принятия решений в задаче синтеза учебного плана // Вестник Воронежского института МВД России. 2009. № 1. С. 136-143. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11780755> (дата обращения: 17.08.2021).



информативности образа. Приведение всего образа к выражению эмоции (например, в работе² и далее к [15; 16]), кодирование отдельных показателей цветом (например, в [17]) или использование анимации³ [18] лишь частично решают эту проблему. Одним из направлений модификации лиц Чернова стала идея В.А. Филимонова⁴, по которой вместо лица используется упрощенная фигура человека. У данного подхода есть ряд достоинств: во-первых, появляется больше направлений для симметрирования⁵; во-вторых, на образ можно наносить дополнительные артефакты (предметы), которые будут достаточно гармонично дополнять фигуру; в-третьих, появляется возможность отделить интегральную оценочную зону (например, выражение лица), от зон непосредственного отображения значений сравниваемых признаков. Не маловажным фактором является и эстетичность итогового образа: далеко не каждый специалист (состоявшийся, ибо еще обучающийся) позитивно воспринимает свой образ в виде сильно искаженного лица [19-22], а диспропорции в фигуре воспринимаются терпимее. В работе⁶ была предложена модификация подхода Чернова, названная методом Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA), которую рассмотрим далее в контексте решения задач в электронном/дистанционном обучении.

Таким образом, задача представления и сравнения учебных планов мы сведем к тому, чтобы полечить графический образ специальности и наложить на него специфические данные конкретных программ подготовки специалистов. Целью такого сравнения будут оценка сбалансированности учебной нагрузки и обоснование специфики подготовки, т.е. ответ на вопрос: как и за счет чего прийти к компромиссу между отраслевой специализацией и фундаментальной подготовкой. Для направления подготовки специалистов в информационных технологиях такое сравнение планов дополнительно актуализируется тем, что активно внедряемые новые программно-аппаратные решения приводят к появлению множества новых («молодых») дисциплин, которыми работодатели конкретных производств стремятся заменить (свести к минимуму) прочие категории дисциплин (общеобразовательные и профильные фундаментальные). В отличие от курсов повышения квалификации, в высшем образовании такой эффект не желателен. Поэтому нам представляется важным иметь твердую методологическую базу для сравнения и балансировки учебного материала между компонентами учебного плана.

Опишем метод UGVA и продемонстрируем его использование для принятия решений при работе с учебными планами специальности «Информатика и вычислительная техника» (шифр 09.04.01).

Методы UGVA

Метод Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA) – это метод визуального представления профессионального профиля подготовки, выраженного в виде антропоморфного образа, с целью показать особенности его содержания и быстро сравнивать такие профили между собой⁷. Исходными данными для визуализации является структура дисциплин учебного плана и экспертные мнения, данные по отношению к предварительно выделенным группам профессиональных умений (S_p) для конкретной профессии.

Базовый образ в нотации UGVA имеет семь зон и объединяет в себе ретроспективные данные (нижнюю страту), текущие показатели (среднюю страту) и оценочную зону (верхняя страта), т.е. образ нацелен на комплексное объединение категорий прошлого, настоящего и будущего. При переходе от базового образа к частному (в контексте выбранной специальности) для каждой группы профессиональных умений из S_p на образ ставится в соответствие зона или её часть (параметры размера конкретных частей фигур), где отдельно выводятся оценки вклада K_{pm} соответствующих групп дисциплин для базовой и вариативной (включая факультативную) частей плана. Нижняя часть (страта) показывает образовательный опыт на предыдущих ступенях подготовки; средняя – на текущей ступени; верхняя страта (голова) показывает общую оценку баланса нагрузки (выражение лица) и блок отраслевого профилирования (головной убор). Выбор того, с какой частью образа соотнести значение той или иной компоненты S_p , принимает исследователь, руководствуясь рекомендациями экспертов и пониманием того, что в итоговом образе будет информативно сопоставлять. Как правило, отдельно визуализируются фрагменты базовой и вариативной компонент ключевых показателей K_{pm} . Каждому блоку в средней страте ставится в соответствие блок в нижней страте (как правило, находящийся в той же части образа по вертикали) для того, чтобы визуально их было легче сопоставлять в динамике (от прошлого образовательного опыта к текущему). Параметры блока (высота, ширина, радиус или иное свойство), кодирует значение оценки. По горизонтали образ имеет симметрию право-центр-лево. Головной убор, как показатель отраслевой региональной специализации вынесен из нижней и средней страт, т.к. далеко не у всех программ подготовки есть целевое предприятие-заказчик, явно диктующее требования к будущей квалификации выпускников. При адаптации базового профиля к специфике конкретной профессии, образ может быть дополнен какими-либо артефактами (символами, значками, изображениями предметов), чьи габариты и цвет кодируют выделенные

² Jones D. E. H. The Inventions of Daedalus: A Compendium of Plausible Schemes. Oxford; San Francisco: W.H. Freeman, 1982. 204 p.

³ Соболева А. Г. Когнитивная визуализация знаний с помощью лиц Чернова // Комп'ютерний моніторинг та інформаційні технології. 2006. С. 135-136. URL: <http://masters.donntu.org/2006/fvti/soboleva/library/text7.htm> (дата обращения: 17.08.2021).

⁴ Филимонов В. А. Способ когнитивной визуализации многопараметрических компонентов системы // Робототехника и искусственный интеллект: материалы XIII Всерос. НТК с межд. участием. Красноярск: Литера-Принт, 2021. С. 109-113. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48198285> (дата обращения: 17.08.2021).

⁵ Weyl H. Symmetry. Princeton: Princeton University Press, 1952. 168 p.

⁶ Углев В. А. Метод унифицированного графического воплощения активности // Робототехника и искусственный интеллект: материалы XI Всерос. НТК с межд. участием / под ред. В. А. Углева. Железногорск: Литера-Принт, 2019. С. 161-172. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42311862> (дата обращения: 17.08.2021).

⁷ Там же.



детали подготовки. В случае, если какой-либо показатель K_{pm} равен 0, то он либо не отрисовывается на образе, либо закрашивается красным цветом. Каждому блоку в средней страте ставится в соответствие блок в нижней страте (как правило, находящийся в той же части образа по вертикали) для того, чтобы визуально их было легче сопоставлять в динамике (от прошлого образовательного опыта к текущему). Параметры блока (высота, ширина, радиус или иное свойство), кодирует значение оценки.

Преобразование исходных данных об учебном плане и текущих показателях обучения осуществляются в следующей последовательности (укрупненно):

1. Оценку доли вклада отдельных дисциплин x_{pj} в интегральный показатель K_{pm} для каждого элемента нагрузки j , относящегося к базовой части учебного плана ($m=0$), вариативной ($m=1$) или факультативной ($m=2$) по формуле (1):

$$K_{pm} = \sum_j (x_{pj} \prod_i \beta_{ij})' \quad (1)$$

где β_{ij} - множество весовых коэффициентов, характеризующих дисциплину j (формы контроля β_1 , объемы аудиторных часов в процентах β_2 и пр.); значения x_{pj} принадлежат интервалу от 0 (дисциплина не участвует в развитии профессионального умения S_p) до 1 (дисциплина нацелена на развитие соответствующего умения);

2. Расчет интегральной оценки K_p по каждому из p умений по формуле (2):

$$K_p = \sum_p K_{ps} \alpha_m, \quad (2)$$

где $\alpha_j = 1$ при $m=0$, $\alpha_j = 0.75$ при $m=1$ и $\alpha_j = 0.5$ при $m=2$;

3. Оценка сбалансированности учебного плана (т.е. величина отклонения δ от баланса) относительно априори выделенных групп профессиональных умений ($K_p \rightarrow K'_p$) осуществляется по формуле (3):

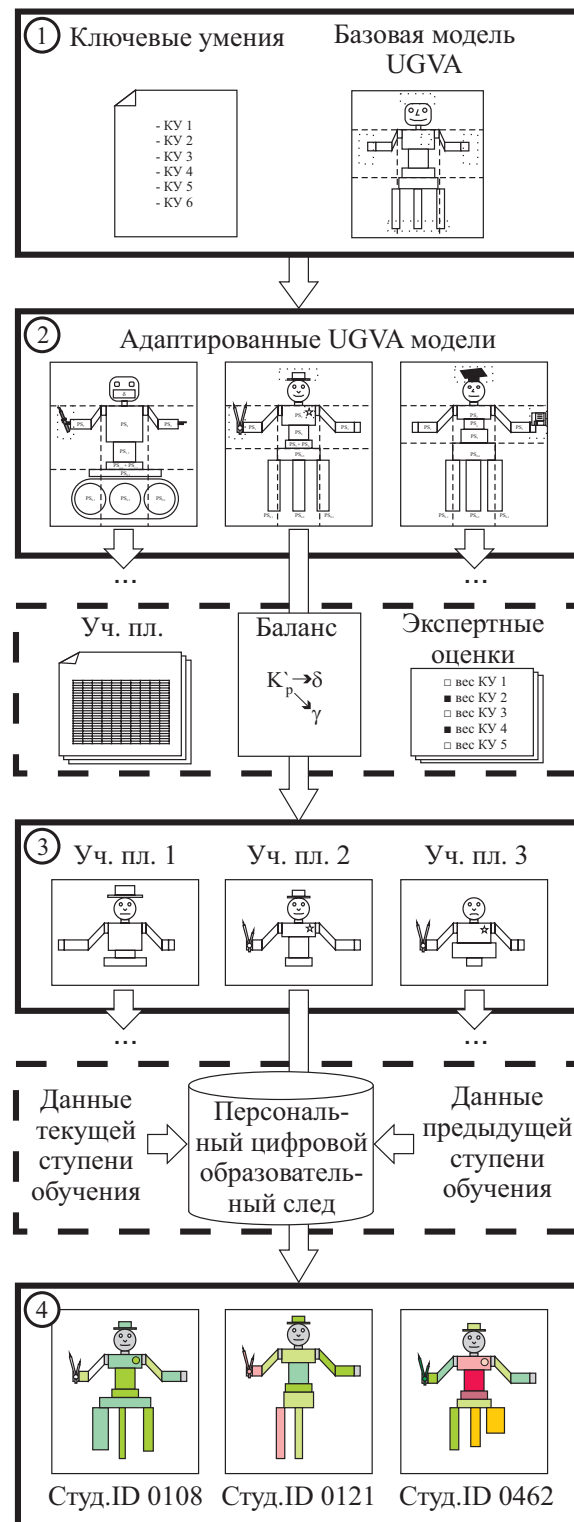
$$\delta = \frac{\sum_{p=1}^n \left| \frac{100}{n} - K'_p \right|}{n}, \quad (3)$$

4. Пересчет значений всех показателей к масштабам (γ), пригодным к дальнейшей визуализации образа по (4):

$$\gamma(K'_p) = \min(D) + \frac{K'_p}{100} (\max(D) - \min(D)), \quad (4)$$

где D - множество допустимых значений шкалы параметра размера соответствующего графического элемента образа в нотации UGVA, ассоциированного со значением K'_p .

На схеме с рис. 1, показана последовательность реализации этапов формирования антропоморфного образа. Цифрами обозначены следующие этапы:



Р и с. 1. Этапы формирования образа в нотации UGVA

Fig. 1. Stages of image formation in UGVA notation



1. Подготовка исходных данных и их анализ на предмет привязки к параметрам графических элементов базового образа;
2. Адаптация базового образа под специфику задачи (включая дополнение артефактами) и определение допустимых границ вариации линейных размеров его элементов (включая варианты отображения нулевых значений);
3. Расчет значений K_p по всем S_p , их нормирование к K_p и последующая оценка общего соотношения (например, баланса δ);
4. Наложение данных на образы сравниваемых объектов, цветом выделяя на каждой стадии те параметры, которые важны для принятия решений (например, на стадии 3 отмечаются блоки с нулевыми значениями показателей, а на четвертой стадии текущие показатели обучения из индивидуально-цифрового образовательного следа учащихся).

Далее идет процесс принятия решений на основании полученных графических образов. Третий и четвертый этапы выполняются автоматически, остальные предполагают минимальное участие человека-аналитика, взаимодействующего с приложением через соответствующие экранные формы. Графический образ в нотации подлечит интерпретации. Ключевыми моментами, на которые следует обращать внимание являются:

- значение показателя баланса (форма рта в верхней страте образа);
- соотношение правого, левого и центрального блоков средней страты;
- разницу между базовыми и вариативными элементами в структуре учебного плана;
- отсутствие отдельных элементов образа;
- преемственность нагрузки нижней и средней страт в контексте обследуемых профессиональных умений;
- наличие/отсутствие на образе дополнительных элементов (артефактов);
- характер цветовой маркировки (в случае нулевых значений показателей для третьего этапа или анализа цифрового образовательного следа для четвертого этапа).

Пример анализа учебного плана

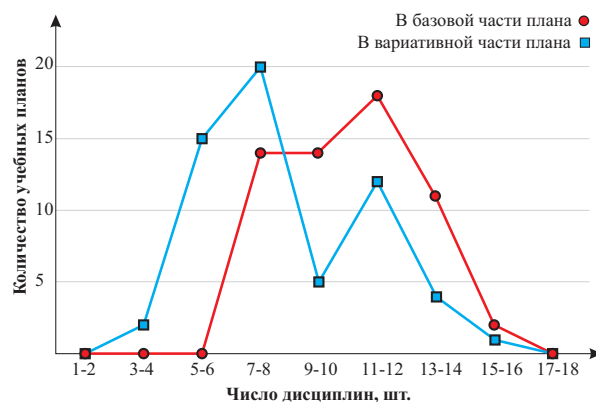
Рассмотрим применение методики UGVA для анализа учебного плана по подготовке специалистов специальности «Информатика и вычислительная техника» (шифр 09.04.01 по классификации Минобрнауки РФ) уровня магистратуры. Поводом для исследования стал переход с государственных образовательных стандартов одного поколения на обновленные (с 2020 года). Таким образом имелись действующие учебные планы за 2018-2019 год и новый (более актуальный, но требующий критической оценки). За базовую программу подготовки возьмем магистратуру 09.04.01.03 «Информационные системы и центры управления полетами» в Сибирском федеральном университете, имеющую прямой заказ на подготовку кадров от отраслевого предприятия-партнера.

Целью исследования стало выявление проблемных моментов, в направлении которых следовало предложить рекомендации по дальнейшему совершенствованию учебного плана выбран-

ной программы подготовки. В качестве задач было поставлено:

1. Выявить перечень ключевых профессиональных умений S_p для направления подготовки 09.04.01, опираясь на мнение экспертного сообщества;
2. Подготовить адаптированный графический образ в нотации UGVA данного направления подготовки;
3. Собрать данные о действующих учебных планах наиболее крупных ВУЗов России и проанализировать эти образы на предмет распределения нагрузки и баланса;
4. Оценить учебный план 09.04.01.03 и сформулировать рекомендации по его дальнейшей актуализации (на набор 2022 г.) на основании образов в нотации UGVA и информации о специфике реализации учебного процесса.

Специфика оцениваемого учебного плана заключается в том, что за два года студенты обучаются по 23 дисциплинам общим объемом 90 зачетных единиц (исключая практики и дипломную работу) или 3240 часов. Не смотря на некоторые ограничения в соотношении базовой и вариативной частей учебного плана, университеты компонуют учебные дисциплины и распределяют часы между ними самостоятельно. Вариативность компонентов действующих учебных планов по направлению подготовки 09.04.01 в России (по выборке для 73 планов наиболее крупных ВУЗов России) показана на рис. 2.



Р и с. 2. Распределение количества учебных дисциплин в учебных планах специальности «Информатика и вычислительная техника» в ведущих ВУЗах РФ

Fig. 2. Distribution of the number of academic disciplines in the curricula of the specialty "Informatics and Computer Engineering" in the leading universities of the Russian Federation

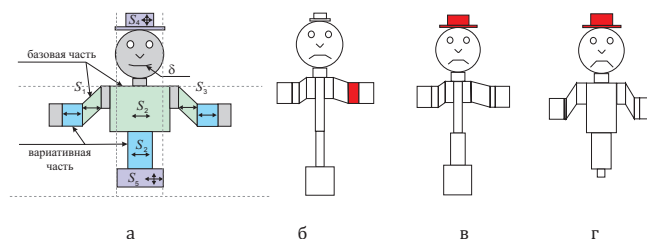
С целью проведения исследования была сформирована межуниверситетская рабочая группа, состоящая из 4 экспертов (кандидаты наук в области информационных технологий, работники профильной кафедры), представителя регионального работодателя и нескольких магистрантов. Это позволило учесть как мнение работников академической среды, непосредственно обучающихся специалистов в области информационных технологий, так и представителей работодателя. Экспертной оценке и анализу сначала подвергся учебный план 09.04.01.03 (на 2019 и 2020 г.), а затем каждый из оставшихся 71 планов направления «Информатика и вычислительная техника».



Попытка ввести деление дисциплин по профилю привело к необходимости выделения ключевых профессиональных умений S_p , имеющих неоднозначное распределение между элементами учебного плана (отношение многие-ко-многим). Опираясь на методику выявления и согласования экспертных мнений DELPHI⁸, рабочая группа пришла к компромиссному решению, что ключевыми профессиональными умениями для специалиста в данной специальности должны являться:

- разработка программного обеспечения (S_1);
- информационные технологии (в широком профиле, $S_{2,1}$);
- программно-аппаратные системы и сети, $S_{2,2}$);
- математические и алгоритмические методы обработки информации (S_3);
- инженерия в области отраслевой специализации (S_4);
- прочие области знания, не относящиеся к профильной подготовке (S_5).

На рис. 3(а) показано распределение оценок ключевых профессиональных умений K_p по частям образа. Так как рассматривается только учебный план магистратуры (без индивидуальных показателей студентов), то образ на этом этапе не включает в себя нижнюю страту.



Р и с. 3. Адаптированный образ в нотации UGVA (а), две специальности в СФУ (б-с) и специальность МИФИ

Fig. 3. Adapted image in UGVA notation (a), two specialties in SibFU (b-c) and specialty MEFU

Для перехода от частной модели к образу конкретного учебного плана (например, план 09.04.01.03 «Информационные системы космических аппаратов и центров управления полетами» в Сибирском федеральном университете за 2019 г.) необходимо сформировать таблицу экспертных оценок (см. табл. 1). Оценки выставляются на основании учебного плана, доступного на сайте университета. Имеется перечень дисциплин и характеристики каждой (как коэффициенты): принадлежность к базовой ($\alpha=1$), вариативной ($\alpha=0,7$) или факультативной частям ($\alpha=0,5$); формы контроля (β_1); объемы часов в % (β_2) и пр. Более детальную информацию о содержании учебного плана (включая структуру дисциплин), как правило, взять из открытых источников оказалось проблематично.

Таблица 1. Экспертные оценки вклада дисциплин из учебного плана в профессиональные умения

Table 1. Expert assessments of the contribution of disciplines from the curriculum to professional skills

№	Курс	α	β_1	β_2	...	S_1	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$	S_3	S_4	S_5
1	Технический английский	1	0,8	6,8	...	0	0	0	0	0	1
2	Методология научной деятельности	1	1	2,7	...	0	0	0	0	0	1
3	Методы оптимизации	1	0,8	2,1	...	0	0,25	0	1	0	0
...
21	Объектно-ориентированное программирование	1	1	8,1	...	1	0,25	0	0	0,25	0
22	Основы проектирования космических аппаратов	0,7	0,8	4,6	...	0	0	0	0	1	0
23	Системная инженерия	0,7	0,8	2,1	...	0,25	0	0,2	0,15	0,55	0

По данным из таблицы 1 и применяя формулу (2) получим оценки для каждого ключевого профессионального умения (см. первую строку в табл. 2, показатели S2.1 и S2.2 объедине-

ны). Далее эти результаты нормируем к процентному соотношению ($K_p \rightarrow K'_p$) и подставляются в функцию расчета сбалансированности (3).

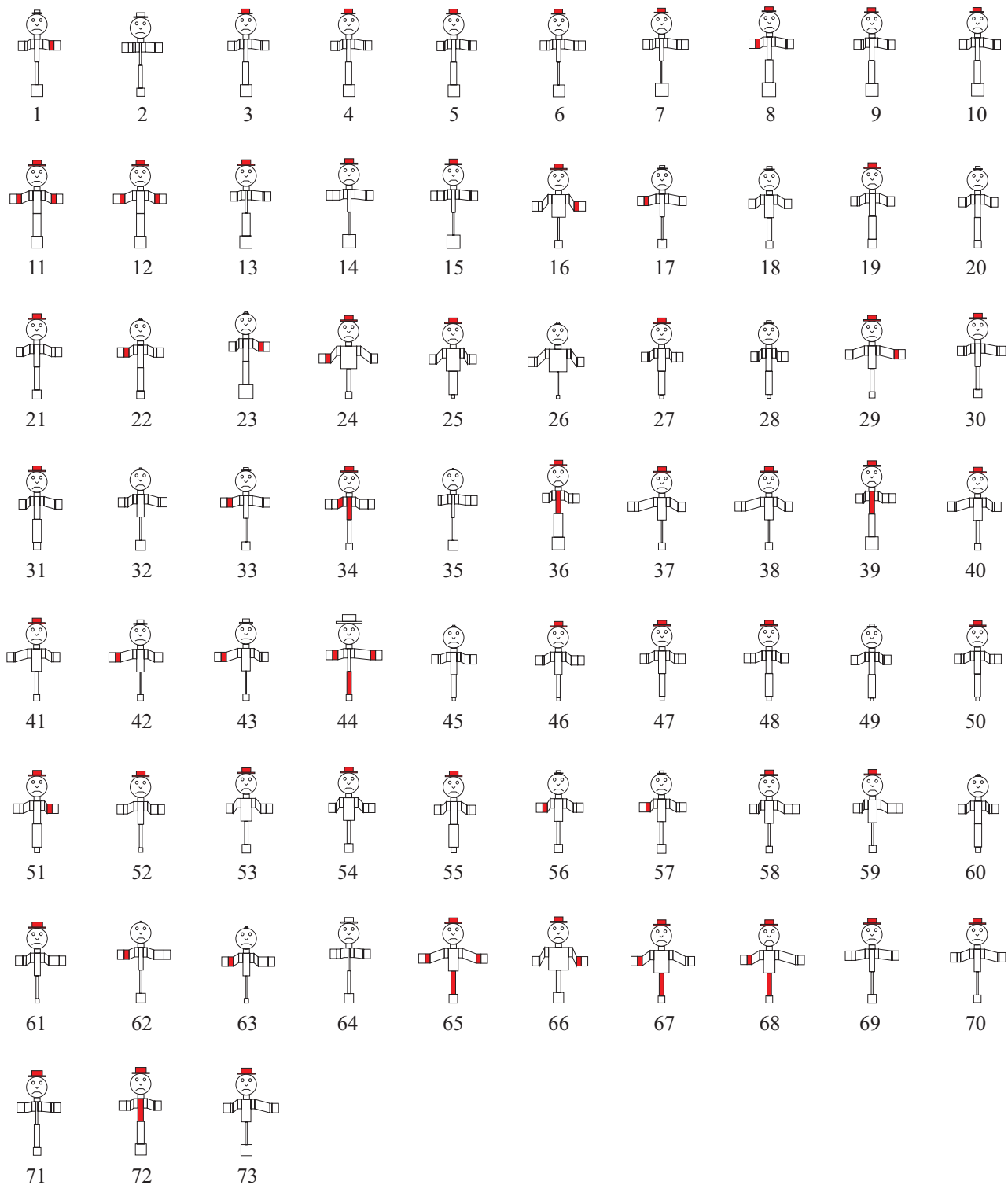
Таблица 2. Показатели вклада ключевых профессиональных умений в учебный план различных специальностей и показатели их сбалансированности

Table 2. Indicators of the contribution of key professional skills to the curriculum of various specialties and indicators of their balance

№	Университет	Шифр	Год набора	K'_1	K'_2	K'_3	K'_4	K'_5	δ
1	Сибирский федеральный университет	09.04.01.03	2019	16,66	12,27	12,04	10,81	48,22	12,25
2	Сибирский федеральный университет	09.04.01.03	2020	28,89	5,66	20,67	16,57	28,21	12,04
3	Сибирский федеральный университет	09.04.01.01	2019	14,85	14,07	20,12	0,00	50,96	16,39
...
71	Дальневосточный федеральный университет	09.04.01	2020	30,57	9,15	22,57	0,00	37,17	15,04
72	Северо-восточный федеральный университет	09.04.01	2019	37,47	7,53	13,61	0,00	41,39	14,07
73	Дальневосточный государственный университет путей сообщения	09.04.01	2020	27,15	18,50	35,38	0,00	18,97	15,01

⁸ Lindstone H., Turoff M., Helmer O. The Delphi Method: Techniques and Applications. Portland State University; 2002. 618 p.





Р и с. 4. Образы 73 учебных планов в нотации UGVA по специальности 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» за 2018-2020 гг. для ведущих университетов в Российской Федерации

F i g. 4. Images of 73 curricula in UGVA notation in the specialty 09.04.01 "Informatics and Computer Engineering" for 2018-2020. for leading universities in the Russian Federation



Согласно распределению показателей с рис. 3 (а) по элементам образа, получим априорную оценку учебного плана 09.04.01.03 (см. рис. 3 (б)). Размеры элементов образа нормированы относительно базовых минимальных и максимальных настроек образа по (4). На образе разделены компоненты базовой учебной нагрузки и вариативной (включая факультативную часть): плечи правое и левое соответствуют базовой компоненте K_1 и K_3 (длина), предплечья - их вариативным значениям (длина); грудь и живот соответствуют базовой и вариативной компоненте K_2 соответственно (высота); тазовая часть поставлена в соответствие вкладу K_5 (и высота и ширина); головной убор так же показывает объединенное значение K_4 (длина и ширина). Форма рта задается согласно значению δ : чем план ближе к балансу между ключевыми профессиональными умениями, т.е. значение стремится к нулю, тем образ «веселее».

Визуальный образ в нотации UGVA с рис. 3 (б) отчетливо показывает, что имеются проблемы как с общим балансированием учебной нагрузки (корпус непропорционально тонок), так и с отсутствием в вариативной части дисциплин из блока S_3 (это математические и алгоритмические методы обработки информации, отмеченный красным цветом в области левой руки). Отклонение от балансного состояния $\delta = 12,25$ достаточно существенно, что видно по грустному выражению лица.

Расширим область анализа и сравним несколько учебных планов в нотации UGVA. Для этого возьмем планы 73 программ по подготовке магистров в области «Информатика и вычислительная техника» (это почти 10% действующих планов по стране на 2018-2020 гг.) из 22 наиболее крупных ВУЗов РФ. Осуществим аналогичную экспертную оценку каждого учебного плана и рассчитаем для них значения K_p и δ . На рис. 2 (в) показан образ специальности 09.04.01.01 «Высокопроизводительные вычислительные системы» в том же СФУ, но по профилю «Высокопроизводительные вычислительные системы» (соответствует строке 3 из табл. 2). Набор дисциплин, относительно специальности 09.04.01.03, в этом учебном плане отличен на 68%. Видно, что у данной специальности нет целевого регионального отраслевого предприятия-партнера (подготовка ведется для широкого круга работодателей на рынке труда, поэтому головной убор окрашен красным цветом), а также имеются диспропорции в структуре нагрузки согласно перечня профессиональных умений (тонкий корпус, достаточно короткие руки). Показатель отклонения от баланса определяет выражение лица как грустное, что так же говорит о необходимости работы над балансировкой компонент учебного плана. Теперь покажем результаты визуализации всех 73 анализируемых программ специальности «Информатика и вычислительная техника», значения K_p и δ которых равны данным из соответствующих строк табл. 2. Образы этих программ в нотации UGVA показаны на рис. 4.

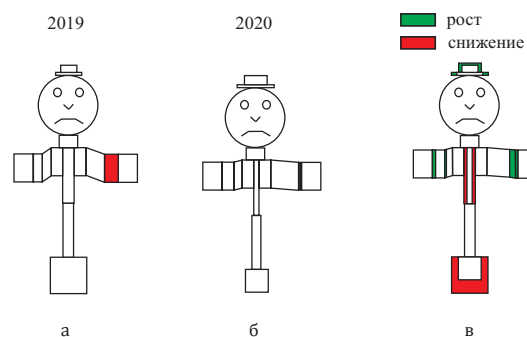
В качестве ключевых тенденций и проблемы, которые видны на образах учебных планов с рис. 4 можно отметить следующие:

- практически у 3/4 учебных планов нет отраслевого регионального заказчика, целевым образом влияющего на программу подготовки магистров по специальности 09.04.01 (это видно по закрашенным красным цветом головным уборам на образах соответствующих программ подготовки);

- 58,9% программ уделяют слишком мало нагрузки умениям $S_{2,1}$ и $S_{2,2}$ (это видно по узким корпусам большинства образов в центре средней страты);
- распределение нагрузки между базовой и вариативной частями учебных планов по одним группам профессиональных умений как правило имеет сильные диспропорции (например, образы №37, 38, 42, 44 и пр.);
- «выражение лиц» на образах отражает грустную «эмоцию», но её степень проявления позволяет обратить внимание на лучшие практики, реализованные в плане №25 (см. рис. 3 (г)) и частично в планах № 16, 40, 43, 45.

Такое обобщение полезно не только для комплексной оценки программ подготовки по специальности «Информатика и вычислительная техника» и сравнения учебных планов со стороны руководителей программ подготовки, но и для абитуриентов, которые могут на основании такого сравнения получить основания для выбора в пользу конкретной программы подготовки как внутри одного ВУЗа, так и на уровне региона или всей страны.

Вернемся к необходимости изучить динамику учебного плана программы подготовки 09.04.01.03 и попробовать оценить те направления, в которых следует сделать изменения при очередном пересмотре планов. Из рис. 5 видно, что при переходе к новым учебным планам в 2020 г. было изменено соотношение учебной нагрузки: между образами 2019 (а) и новым образом 2020 (б) имеются различия, выделенные на (в). Этим учебным планам соответствуют строки 1 и 2 из таблицы 2. Видно, что за счет групп дисциплин S_2 и S_5 (и без того имеющих малый вклад) была наращена нагрузка в блоках S_1 , S_3 и S_4 , что отразилось как на пропорциях образа, так и повысило показатель отклонения от баланса.



Р и с. 5. Сравнение динамики изменений учебного плана 09.04.01.03 за 2019 (а) - 2020 (б) с выделением различий (в)

F i g. 5. Comparison of the dynamics of changes in the curriculum 09.04.01.03 for 2019 (а) - 2020 (б) highlighting differences (в)

Результаты исследования

Результаты проведенного исследования можно отнести к двум аспектам: применительно к программе подготовки «Информатика и вычислительная техника» и применительно к процессу проведения повторного анализа или обследования иных программ подготовки, базируясь на методе UGVA.

Опираясь на визуальные образы в нотации UGVA, а также зная детали организации учебного процесса и потребности



отраслевого работодателя, сформулируем рекомендации по актуализации содержания учебного плана специальности 09.04.01.03 «Информационные системы и центры управления полетами»:

- пересмотреть соотношение вариативной части и базовой в пользу базовой с целью повысить сбалансированность (в направлении уменьшения значений показателя δ);
- включить не менее одной дополнительной дисциплины в базовую часть учебного плана из области общей информатики (S_2);
- постараться исключить из базовой части (перенести в вариативную) модные, но не имеющие высокой ценности для фундаментальной подготовки дисциплины (курсы «Интернет вещей» и «Распределенная обработка информации».

Возможности для реализации таких изменений в плане набора 2022 мы видим на примере образов отдельных образовательных программ в других университетах (например, образ № 25 с рис. 4), а также небольшого вклада дисциплин от отраслевого партнера (только три, что дает больше возможностей для маневра при согласовании новой структуры плана). Если на предыдущих обсуждениях изменений на кафедре единой базы сравнения альтернативных структур не было, то теперь появляется дополнительный аргумент, опираясь на результаты применения методики UGVA.

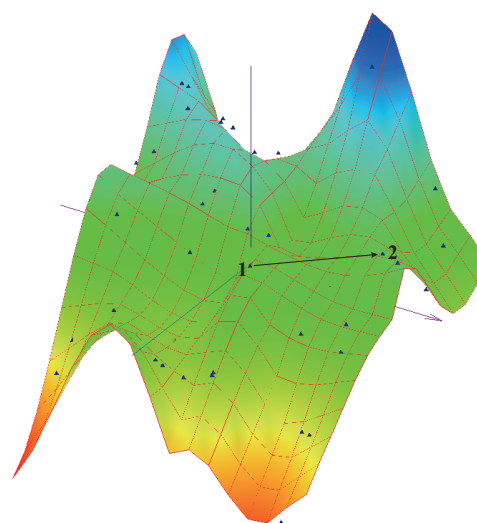
Доказательность и наглядность графического представления образов в нотации UGVA (см. рис. 4) можно увидеть при сравнении с таким достаточно мощным инструментом визуализации, как упругие карты (нелинейное обобщение главных компонент [12], см. рис. 6) для данных из таблицы 2. Карта показывает взаимные позиции всех 73 учебных планов в факторном пространстве, отображенном на первые две главные компоненты (пространство внутренних координат). Цветовой градиент построен для значения δ от наименьших значений (синий) к наибольшим (красный). Стрелкой показано изменение позиции учебного плана 09.04.01.03 за 2019 год (точка 1) при актуализации в 2020 году (точка 2). Несмотря на то, что сравнение позиций с рис. 6 дает очевидный ответ о том, что актуализация не существенно изменила баланс компонентов учебного плана в разрезе ключевых профессиональных умений, эта визуализация не позволяет увидеть более полную картину (объясняющая способность ограничена). Это дает преимущества для аналитика, актуализирующего учебные планы с опорой на образы в нотации UGVA, при ответе на вопросы:

- какие компоненты профессиональных умений имеют больший/меньший вклад в итоговый учебный план и за счет чего;
- в каком направлении следует осуществить перераспределение акцентов обучения и на какие примеры планов в других университетах (лучшие практики) можно обратить внимание;
- как изменится баланс соотношения групп ключевых умений δ , если изменить те или иные параметры учебного плана.

В качестве рекомендаций по повторному проведению обследования специальности «Информатика и вычислительная техника» или иных программ из области информационных техно-

логий мы можем предложить следующее:

- при выборе точки зрения [23] при выделении профессиональных умений необходимо учитывать единство категорий специальных и фундаментальных знаний, формирующих образовательный след. На наш взгляд, крайностей следует избегать и выбирать баланс между прикладными (в основе лежат профессиональные стандарты) и академическими (в основе государственные образовательные стандарты) элементами учебных программ. Разумное абстрагирование и понимание сути профессий является залогом для получения практически-ценных результатов;
- при выделении числа самих ключевых умений S_p практика показала, что 5-9 позиций вполне достаточно, т.к. они будут еще дифференцироваться и отображаться в зависимости от принадлежности к той или иной части учебного плана (параметр априори принятия решений метод должен быть по возможности интегрирована в структуру имеющихся и применяемых средств автоматизации обучения (LMS, ITS), используя для различных уровней принятия решений (оперативном, тактическом и стратегическом [24]). Все расчеты и оценки должны выполняться по возможности с помощью средств автоматизации, минимизируя участие человека (включая отрисовку образа в нотации UGVA). Для этой цели мы используем специально разработанный сервис на языке JavaScript.



Р и с. 6. Карта образов учебных планов по программам методом эластичных карт по множеству значений δ и позиции программы 09.04.01.03 за 2019 (1) и 2020 (2) годы

Fig. 6. Curriculum image map for programs using the elastic map method for a set of δ values and program positions on 09.04.01.03 for 2019 (1) and 2020 (2)

Руководствуясь приведенными рекомендациями не следует упускать из вида иные подходы к анализу и компоновке структуры учебных планов, дополняя их образами в нотации UGVA. Так же следует отметить, что расширение числа экспертов и включение в анализ большего числа учебных планов (расширение географии анализа) способствует повышению достоверности и практической полезности получаемых результатов.

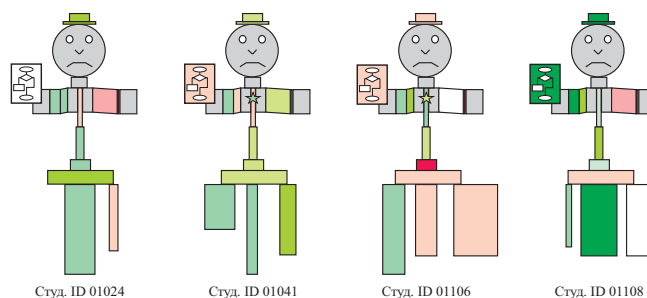


Заключение и будущие исследования

Качественная подготовка специалистов в области информационных технологий базируется на учебных планах и реализующих их совокупности учебных дисциплин. Поэтому методы и инструменты сравнения, оценки и поддержки принятия решений при работе с планами являются крайне востребованными. Применение метода Unified Graphic Visualization of Activity (UGVA) для анализа ряда направлений подготовки специалистов в области информационных технологий показал, что, не смотря на широкую вариабельность структуры подготовки и специализации региональных рынков труда, общую базу для анализа учебных планов можно сформировать, обработать и визуализировать, даже опираясь на публичные документы с сайтов университетов. Практические результаты, полученные в процессе проведения этого исследования, позволили обосновать направления актуализации учебного плана программы «Информационные системы и центры управления полетами» специальности «Информатика и вычислительная техника» для набора 2022 г. в Сибирском федеральном университете.

Перспективами дальнейших исследований является применение методики UGVA для ряда специальностей при актуализации учебных планов, а также для текущего мониторинга процесса обучения (этап 4 с рис. 1). Суть мониторинга заключается в том, чтобы наложить индивидуальные данных из цифрового образовательного следа из среды электронного обучения (LMS) на образ в нотации UGVA. В качестве примера покажем результаты оценки уровня развития компетентностей, осуществленные по методу [25], и продемонстрируем то, как они могут быть использованы для анализа учебной ситуации методом UGVA. Как было описано в [24], визуализация на тактическом уровне (мониторинг учебной ситуации в рамках отдельно взятой дисциплины) с помощью когнитивных карт диагностики знаний, не даст основания принимать стратегические решения на всей совокупности текущих дисциплин. Для решения этой задачи построим образы студентов в нотации UGVA, спроецировав на них данные надпредметных компетентностных профилей. На рис. 7 показаны образы четырех магистрантов, обучающихся в одной группе (специальность «Информатика и вычислительная техника» в СФУ), но имеющие различные показатели предыдущей ступени образования (нижняя страта образов). Цветовая маркировка опирается на шкалу, где максимальные результаты оценки уровня развития компетентностей (зеленый соответствует коэффициенту уверенности $C_j=1$) и минимальные (красный при $C_j=-1$) переходят через зону неопределённости (белый при $C_j=0$) в соответствии с критерием Шортлифа⁹. Так же на рис. 7 видно, что в средней страте на уровне учебного плана был введен артефакт (маркер прохождения спецкурса, отображаемого в виде блок-схемы) и данные об успешном участии в региональной олимпиаде (закодировано в виде звезды). Как видно из получившихся образов студентов (средняя страта), число отражаемых параметров в образе может быть существенно расширено, если это будет оправдано условиями исследования. Таким образом, метод практически применим для мониторинга текущих по-

казателей учебного процесса при аудиторной, дистанционной и самостоятельной формах организации процесса обучения.



Р и с. 7. Пример наложения данных контрольного среза на индивидуализированный образ в нотации UGVA для 4-х студентов

Fig. 7. An example of overlaying control slice data on an individualized image in UGVA notation for 4 students

References

- [1] Clear A., Clear T., Vichare A., Charles T., Frezza S., Gutica M., Lunt B., Maiorana F., Pears A., Pitt F., Reidesel C., Szynkiewicz J. Developing Competency Statements for Computer Science Curricula: The Way Ahead. *Proceedings of the 2020 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*. Association for Computing Machinery, New York, USA; 2020. p. 515-516. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1145/3341525.3394995>
- [2] Ajanovski V. Evolutionary Curriculum Reconstruction: Process Model and Information System Development. *Proceedings of the 18th Annual Conference on Information Technology Education*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA; 2017. p. 89-94. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1145/3125659.3125698>
- [3] Tomic P., Beeston J. Designing Undergraduate Data Science Curricula: A Computer Science Perspective. *2018 ASEE Annual Conference & Exposition*. ASEE Conferences, Salt Lake City, Utah; 2018. p. 1-11. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.18260/1-2--30283>
- [4] Aldowah H., Al-Samarraie H., Fauzy W. Educational data mining and learning analytics for 21st century higher education: A review and synthesis. *Telematics and Informatics*. 2019; 37:13-49. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.01.007>
- [5] Zykina A.V., Kaneva O.N., Munko V.V. The development of approaches for obtaining automated solution on the formation of the curriculum. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2018; 14(4):931-937. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201804.931-937>
- [6] Takada S., Cuadros-Vargas E., Impagliazzo J., Gordon S., Marshall L., Topi H., Veer G., Waguespack I. Toward the visual understanding of computing curricula. *Education and Information Technologies*. 2020; 25(5):4231-4270. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10127-1>

⁹ Buchanan B. G., Shortliffe E. H. Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. Addison Wesley, Reading, MA, 1984. 754 p.



- [7] Waguespack L., Topi H., Frezza S., Babb J., Marshall L., Takada S., van der Veer G., Pears A. Adopting Competency Mindful of Professionalism in Baccalaureate Computing Curricula. In: Ed. by J. Sharp. *Proceedings of the EDSIG Conference on Information Systems and Computing Education*. ISCAP, Cleveland, Ohio; 2019. Article number: n4955. 17 p. Available at: <http://proc.iscap.info/2019/pdf/4955.pdf> (accessed 17.08.2021). (In Eng.)
- [8] Crawley E.F., Malmqvist J., Östlund S., Brodeur D.R., Edström K. Rethinking Engineering Education. The CDIO approach. Springer, Cham; 2014. 311 p. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05561-9>
- [9] Qi W. Learning Cell: Intelligent Technologies and Resources in Curriculum Development. In: Ed. by S. Yu, M. Ally, A. Tsinakos. *Emerging Technologies and Pedagogies in the Curriculum. Bridging Human and Machine: Future Education with Intelligence*. Springer, Singapore; 2020. p. 199-214. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0618-5_12
- [10] Sozykin A., Koshelev A., Bersenev A., Shadrin D., Aksenov A., Kuklin E. Developing Educational Programs Using Russian IT Job Market Analysis. *2021 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT)*. IEEE Press, Yekaterinburg, Russia; 2021. p. 0391-0394. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/USBEREIT51232.2021.9454998>
- [11] Han J., Kamber M., Pei J. *Data Mining: Concepts and Techniques*. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems. Third edition. Morgan Kaufmann, Elsevier; 2011. 560 p. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-61819-5>
- [12] Gorban A., Zinovyev A. Fast and user-friendly non-linear principal manifold learning by method of elastic maps. *IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*. IEEE Press, Paris, France; 2015. p. 1-9. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/DSAA.2015.7344818>
- [13] Chernoff H. The Use of Faces to Represent Points in K-Dimensional Space Graphically. *Journal of the American Statistical Association*. 1973; 68(342):361-368. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1973.10482434>
- [14] Flury B., Riedwyl H. Graphical Representation of Multivariate Data by Means of Asymmetrical Faces. *Journal of the American Statistical Association*. 1981; 76(376):757-765. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1080/01621459.1981.10477718>
- [15] Hauthal E., Burghardt D. Retrieving, analyzing and visualizing emotion-related spatial information from user-generated content. *KN – Journal of Cartography and Geographic Information*. 2015; 65(4):216-229. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03545144>
- [16] Colasanti R., Borgo R., Jones M. Emoji and Chernoff – a Fine Balancing Act or are we Biased? *2019 IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis)*. IEEE Press, Bangkok, Thailand; 2019. p. 102-111. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/PacificVis.2019.00020>
- [17] Cene E., Parim C., Özkan B. Comparing the performance of basketball players with decision trees and TOPSIS. *Data Science and Applications*. 2018; 1(1):21-28. Available at: <http://jdatasci.com/index.php/jdatasci/article/view/3> (accessed 17.08.2021). (In Eng.)
- [18] Padilla L.M., Creem-Regehr S.H., Hegarty M., Stefanucci J.K. Decision making with visualizations: a cognitive framework across disciplines. *Cognitive Research: Principles and Implications*. 2018; 3:29. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0120-9>
- [19] Sucontphunt T., Neumann U. 3D Facial Surface and Texture Synthesis Using 2D Landmarks from a Single Face Sketch. *2012 Second International Conference on 3D Imaging, Modeling, Processing, Visualization & Transmission*. IEEE Press, Zurich, Switzerland; 2012. p. 152-159. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/3DIMPVT.2012.65>
- [20] Kukharev G.A., Shchegoleva N.L. Algorithms of Two-Dimensional Projection of Digital Images in Eigensubspace: History of Development, Implementation and Application. *Pattern Recognition and Image Analysis volume*. 2018; 28(2):185-206. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1134/S1054661818020116>
- [21] Kukharev G., Kaziyeva N. Digital Facial Anthropometry: Application and Implementation. *Pattern Recognition and Image Analysis*. 2020; 30(3):496-511. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1134/S1054661820030141>
- [22] Gupta S., Markey M.K., Bovik A.C. Anthropometric 3D face recognition. *International Journal of Computer Vision*. 2010; 90(3):331-349. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s11263-010-0360-8>
- [23] Kossiakoff A., Sweet W.N., Seymour S.J., Biemer S.M. *Systems Engineering Principles and Practice*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc.; 2011. 560 p. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118001028>
- [24] Uglev V., Sychev O. Concentrating Competency Profile Data into Cognitive Map of Knowledge Diagnosis. In: Ed. by A. Basu, G. Stapleton, S. Linker, C. Legg, E. Manalo, P. Viana. *Diagrammatic Representation and Inference. Diagrams 2021. Lecture Notes in Computer Science*. 2021; 12909:443-446. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-86062-2_46
- [25] Uglev V., Ustinov V. The New Competencies Development Level Expertise Method within Intelligent Automated Educational Systems. In: J. B. Perez, J. M. Corchado Rodríguez, et al. *Trends in Practical Applications of Heterogeneous Multi-Agent Systems. The PAAMS Collection. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2014; 293:157-164. Springer, Cham. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-07476-4_19

Поступила 17.08.2021; одобрена после рецензирования 10.09.2021; принята к публикации 20.09.2021.
Submitted 17.08.2021; approved after reviewing 10.09.2021;
accepted for publication 20.09.2021.

Об авторе:

Углев Виктор Александрович, ведущий научный сотрудник, доцент кафедры прикладной физики и космических технологий, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Филиал в г. Железногорске (662971, Российская Федерация, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Кирова, д. 12а), кандидат



технических наук, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1205-2652>, uglev-v@yandex.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the author:

Viktor A. Uglev, Leading Researcher, Associate Professor of the Department of the Applied Physics and Space Technologies, Branch of Siberian Federal University (12a Kirov St., Zheleznogorsk 662971, Krasnoyarsk Krai, Russian Federation), Cand. Sci. (Tech.), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1205-2652>, uglev-v@yandex.ru

The author has read and approved the final manuscript.

