

Информационные системы. Информатика. Проблемы информационной безопасности  
Information systems. Computer sciences. Issues of information security

УДК 378.1

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2026-14-2-42-56>

EDN XNQJRO



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

## Программные методы обработки, анализа и визуализации учебных планов

Е.А. Халтурин<sup>1, @</sup>, А.А. Кытманов<sup>2</sup>, Ю.В. Вайнштейн<sup>1</sup>, Т.В. Зыкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, 660041 Россия

<sup>2</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454 Россия

@ Автор для переписки, e-mail: ekhalturin97@yandex.ru

• Поступила: 20.02.2025 • Доработана: 02.10.2025 • Принята к опубликованию: 11.02.2026

### Резюме

**Цели.** Цель работы – поиск методов и подходов разработки программного комплекса для обработки, анализа и визуализации данных учебных планов образовательных программ в автоматизированном режиме.

**Методы.** Проведен теоретический анализ научных работ и результатов в области исследования. В программном комплексе используются следующие методы: для обработки данных – регулярные выражения, для анализа посредством выявления различий – метод сравнительного анализа и методы описательной математической статистики, для визуализации результатов – графовая модель представления данных.

**Результаты.** Разработана архитектура программного комплекса для обработки (с предобработкой), анализа и визуализации учебных планов с использованием принципов объектно-ориентированного программирования SOLID<sup>1</sup>. Программная реализация на языке программирования C++ использована для подсчета характеристик учебных планов и создания графового представления, на основе которого предложен собственный способ визуализации учебных планов. Продемонстрированы возможности программного комплекса: проведен сравнительный анализ учебных планов, выявлены их особенности, обнаружены недочеты при их проектировании.

**Выводы.** Использование программного комплекса обработки, анализа и визуализации учебных планов может помочь выявить особенности учебного плана, указать на возможные недоработки и слабые места, провести сравнительный анализ разных учебных планов. Его применение позволит повысить качество управления образовательным процессом, заполнить пробелы в области анализа образовательных данных и будет способствовать созданию цифровой экосистемы вуза. Результаты работы могут быть полезны преподавателям, проектирующим и разрабатывающим учебные планы, представителям административно-управленческого персонала, в т.ч. работникам учебно-организационных отделов, а также другим участникам образовательного процесса вуза.

**Ключевые слова:** учебный план, образовательная программа, методы, программная обработка, графовая модель, компетентностный подход, междисциплинарные связи

<sup>1</sup> S (single responsibility principle) – принцип единственной ответственности; O (open-closed principle) – принцип открытости-закрытости; L (Liskov substitution principle) – принцип подстановки Барбары Лисков; I (interface segregation principle) – принцип разделения интерфейса; D (dependence inversion principle) – принцип инверсии зависимостей. [S is the single responsibility principle; O is an open-closed principle; L is the Liskov substitution principle; I is the interface segregation principle; D is the dependence inversion principle.]

**Для цитирования:** Халтурин Е.А., Кытманов А.А., Вайнштейн Ю.В., Зыкова Т.В. Программные методы обработки, анализа и визуализации учебных планов. *Russian Technological Journal*. 2026;14(2):42–56. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2026-14-2-42-56>, <https://www.elibrary.ru/XNQJRO>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## RESEARCH ARTICLE

# Software methods for curriculum processing, analysis and visualization

Evgenii A. Khalturin <sup>1, @</sup>, Alexey A. Kytmanov <sup>2</sup>, Yuliya V. Vaynshteyn <sup>1</sup>,  
Tatiana V. Zykova <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041 Russia

<sup>2</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia

@ Corresponding author, e-mail: [ekhalturin97@yandex.ru](mailto:ekhalturin97@yandex.ru)

• Submitted: 20.02.2025 • Revised: 02.10.2025 • Accepted: 11.02.2026

### Abstract

**Objectives.** The purpose of this study is to identify methods and approaches to developing a software package which can automate the processing, analysis, and visualization of curricula in educational programs.

**Methods.** We provide an overview of relevant scholarly literature and research results. The software package applies regular expressions for data processing, comparative analysis, and descriptive statistics to identify differences. It also uses a graph-based model for visualization.

**Results.** We designed the architecture of a software package for preprocessing, analyzing, and visualizing curricula following the SOLID<sup>2</sup> principles of object-oriented programming. We implemented the package in C++, in order to calculate curriculum characteristics and build a graph representation. This formed the basis of our proposed visualization method. We demonstrate the functionality of the package through a comparative analysis of curricula, identification of distinctive features, and detection of design shortcomings.

**Conclusions.** Our software package helps identify specific features, reveal possible weaknesses, and support the comparative analysis of different curricula. Using it improves the quality of educational process management, addresses gaps in educational data analysis, and contributes to the creation of a university digital ecosystem. The results of our study are useful for faculty members designing and developing curricula, as well as administrative and managerial staff (including those in academic affairs) and other higher education stakeholders.

**Keywords:** curriculum, educational program, method, software, graph model, competency-based approach, interdisciplinary links

**For citation:** Khalturin E.A., Kytmanov A.A., Vaynshteyn Yu.V., Zykova T.V. Software methods for curriculum processing, analysis and visualization. *Russian Technological Journal*. 2026;14(2):42–56. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2026-14-2-42-56>, <https://www.elibrary.ru/XNQJRO>

**Financial disclosure:** The authors have no financial or proprietary interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

---

<sup>2</sup> S is the single responsibility principle; O is an open-closed principle; L is the Liskov substitution principle; I is the interface segregation principle; D is the dependence inversion principle.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время управление образовательным процессом в вузе основано на использовании большого количества разнообразных данных об обучающихся и их процессе обучения; сведений, касающихся образовательных программ (ОП), преподавателей, обеспечивающих их реализацию и т.д. При этом имеющиеся данные используются лишь частично, как правило, для обеспечения административной поддержки образовательного процесса. Например, вуз располагает данными о компетенциях, которые должны сформироваться в результате освоения определенной ОП и статистикой трудоустройства выпускников, освоивших эту программу, однако далеко не всегда проводится анализ взаимосвязей между этими данными с целью внесения изменений в ОП или образовательный процесс для обеспечения лучших результатов ее освоения.

Таких примеров много, все это связано с тем, что в настоящее время управление образованием осуществляется на основе классического подхода учебной аналитики [1]. Однако технологии сбора, обработки и анализа данных стремительно развиваются, что в свою очередь влечет разработку новых подходов [2]. Для успешного внедрения таких подходов в повседневную практику необходимо создание программных инструментов, позволяющих получать в режиме реального времени необходимые для анализа и корректировок данные об образовательном процессе. Созданию и описанию особенностей информационных систем (ИС), использующих данные инструменты, и созданию на их основе интеллектуальных систем посвящено большое число работ (см., например, [3–6]).

Одним из основных объектов анализа образовательного процесса является ОП, которую можно рассматривать как план достижения заявленных образовательных результатов. В частности, в ОП описаны особенности процесса обучения, представлен набор компетенций, которые должны быть сформированы у обучающегося по завершению обучения. Поэтому востребованность ОП во многом зависит от того, насколько она удовлетворяет ожиданиям ее основных потребителей [7]: обучающихся, представителей обучающихся, профессорско-преподавательского состава, административно-управленческого персонала, внешних экспертов, в т.ч. представителей потенциальных работодателей и т.п. Качество ОП играет существенную роль в репутационной составляющей вуза.

Ключевым компонентом ОП является ее учебный план (УП), который описывает схему ее реализации. В УП содержатся данные о компетенциях, индикаторах их достижения, учебные

единицы (УЕ) – дисциплины, практики, государственная итоговая аттестация (ГИА), их порядок следования и трудоемкость. Учебный план является ценным источником информации для управления образовательным процессом. На основе анализа возможно предварительно оценить процесс реализации ОП и выявить ее характерные признаки.

Отметим, что большая часть научных работ, посвященных обработке УП, демонстрирует ручной способ обработки, без использования программных инструментов автоматизации процесса. В настоящей работе демонстрируются разработка и применение программных методов обработки (включая предобработку), анализа и визуализации УП, реализация которых представлена в разработанном программном комплексе. Посредством данного программного комплекса становится возможным привести УП к единому формату, выявить их особенности, произвести их сравнительный анализ, а также представить их в графовой модели для последующей визуализации.

Актуальной задачей исследования является оценка эффективности формирования заявленных в ОП компетенций, что решается анализом взаимосвязей запланированных результатов обучения и широкого спектра показателей обучения, например, процента перевода обучающихся на другие программы. В настоящей статье делается шаг к автоматизации процессов анализа структуры УП и вычисления их характеристик, которые в дальнейшем могут быть связаны с качеством формирования компетенций.

## 1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для того чтобы создать программный инструмент, выявляющий как можно большее количество неочевидных пользователю особенностей УП, соответствующий современным подходам интеллектуального анализа данных [8] и имеющий возможность внедрения в цифровую экосистему вуза, было проанализировано множество исследований, которые можно классифицировать на 5 тематических направлений (от общего к частному):

- 1) Цифровая трансформация: влияние цифровой трансформации в вузах на разных уровнях управления данными.
- 2) Интеллектуальные системы принятия решений на основе данных: проблемы и возможности ИС в целом, как современного подхода синтеза новых и выявления закономерностей в имеющихся данных.
- 3) Оценка ОП: оценка их качества и возможности улучшения.
- 4) Компетентностная составляющая: способы оценки компетентностной составляющей ОП.

**Рис. 1.** Фрагмент экспортированной из ИС «Планы» таблицы *Microsoft Excel*.  
 КП – курсовой проект, КР – курсовая работа, ДКР – дистанционная курсовая работа, Др – другое,  
 СР – самостоятельная работа, С1–С8 – семестры

**Таблица 1.** Форматы заполнения УП (нижним подчеркиванием указаны различия)

№	УП	Данные со страницы «Компетенции(2)». Столбец «Формируемые компетенции»
1	01.04.02.07 «Прикладные вычисления в науке и технике» (эталонный вариант)	УК-1, УК-2, УК-3, УК-4, УК-6, ОПК-1, ОПК-3, ОПК-4
2	09.04.01.06 «Микропроцессорные системы» (неправильный вариант)	<u>ИД-1</u> УК-6, <u>ИД-2</u> УК-6, <u>ИД-3</u> УК-6, <u>ИД-1</u> ОПК-1, <u>ИД-2</u> ОПК-1, <u>ИД-3</u> ОПК-1, <u>ИД-1</u> ОПК-3
3	10.03.01.31 «Безопасность компьютерных систем» (двойные индикаторы)	УК-1, ОПК-7, ОПК-8, ОПК-1.1, ОПК-1.3, ОПК-1.4
4	09.03.03.32 «Прикладная информатика в социальных коммуникациях» (указаны индикаторы вместо компетенций)	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-4.1, ОПК-4.2, ОПК-4.3

*Примечание:* УК – универсальные компетенции, ОПК – общепрофессиональные компетенции, ИД – идентификаторы.

5) Анализ данных УП: возможности анализа данных УП с целью получения общего представления о проектировании ОП.

В результате анализа исследований разработаны автоматизированные методы и подходы к созданию программного комплекса SPA-SFU<sup>3</sup> (от англ. System-Plans-Analyze of Siberian Federal University). Исходными данными для SPA-SFU<sup>2</sup> выступают данные ИС «Планы», разработанной Лабораторией ММИС<sup>4</sup>. Данная ИС широко распространена среди вузов России для работы с УП и удовлетворяет их потребностям, но, несмотря на это, при сопоставлении целей исследования и базы данных ИС «Планы» обнаружена избыточность (рис. 1). На рис. 1 представлен фрагмент входных для данных SPA-SFU<sup>2</sup>, где цветом отмечены: красным – пустые поля УП; желтым – повторяющиеся поля; зеленым – поля со значимыми для исследования данными. Обратим внимание, что в столбце «С»

указаны наименования УЕ – дисциплины, практики и ГИА, на которые отводятся зачетные единицы (ЗЕ) и которые являются основными структурными элементами УП.

В связи с тем, что вузы работают с УП разных федеральных государственных стандартов высшего образования (ФГОС ВО), созданных в разные годы и разными проектировщиками, форматы вносимых данных существенно различаются. При этом все они соответствуют федеральному законодательству и локальным нормативным документам, но их многообразие делает сложным разработку программных методов предобработки УП, в связи с чем были разработаны алгоритмы приведения их к единому стандарту для устранения различий. Различия выражаются в отклонении формата заполнения данных УП от наиболее распространенного среди используемых УП в исследовании (табл. 1, стандартный формат данных указан в строке 1). Примеры различий: иной формат заполнения данных, использование иных имен УЕ, а также соответствующих им компетенций, иной способ указания индикаторов УЕ (табл. 1, нестандартный формат

<sup>3</sup> <https://github.com/ekhalturin-ki15/SPA-SFU2>. Дата обращения 28.09.2025. / Accessed September 28, 2025. (In Russ.).

<sup>4</sup> <https://www.mmis.ru>. Дата обращения 28.09.2025. / Accessed September 28, 2025. (In Russ.).

выделен нижним подчеркиванием) и пр. Устранение различий являлось наиболее трудоемкой задачей при проектировании программных методов, т.к. требовалось спрогнозировать ситуации, которые могут возникнуть при работе со всеми возможными УП.

Пример обнаруженного различия формата заполнения УП исследования: из табл. 1 видно, что УП 09.04.01.06 «Микропроцессорные системы» включает перечень индикаторов, а не компетенций (строка 2), что усложняет программный анализ данных. В качестве способа решения данной проблемы предлагается использовать резервное регулярное выражение, способное вычленив индикатор, в т.ч. и из иного способа оформления УП. Если проигнорировать данное различие формата заполнения, то возникнет ситуация, когда определена группа компетенций с названием «ИД-1УК», вместо «УК» (универсальная компетенция), что в дальнейшем внесет ошибку в расчетах процентного распределения по группам компетенций трудоемкости УЕ.

Другим примером может послужить различие, возникшее в УП 10.03.01.31 «Безопасность компьютерных систем» (строка 3). В нем присутствуют компетенции, которые по виду идентичны индикаторам достижения компетенций (ситуация возникновения двойных индикаторов). Отметим, что существуют УП с перечислением не компетенций, а перечня формируемых индикаторов, как это представлено в УП 09.03.03.32 «Прикладная информатика в социальных коммуникациях» (строка 4), из-за чего требуется дополнительный анализ ситуации пользователем SPA-SFU2 для того, чтобы обозначить, что именно представлено в УП: компетенции или индикаторы их достижения.

Отметим, что часть данных УП с точки зрения программных методов обработки является статистическим выбросом. Например, перечень формируемых компетенций УЕ «Защита выпускной квалификационной работы» включает все возможные компетенции УП, что негативно влияет на объективность получаемой графовой модели. Отметим, что чаще всего выбросами являются УЕ, относящиеся к практикам и к ГИА, т.к. для них указан полный перечень формируемых компетенций всей совокупностью УЕ и встречается намного превосходящая остальные УЕ трудоемкость (измеряемая в ЗЕ). Присутствие выбросов снижает наглядность получаемых агрегированных данных. Например, метрика «количество компонент связности» будет равна единице, что не является информативным.

В итоге, после устранения различий, SPA-SFU2 оперирует только необходимыми и достаточными для комплексного анализа данными об УП, которые в Excel-таблицах располагаются на страницах:

- 1) на странице «Титул» определяются общие данные УП;
- 2) на странице «Компетенции(2)» определяется полный перечень УЕ;

- 3) на странице «Компетенции» сопоставляются индикаторы достижения компетенций. Помимо этого, определяется вложенность УЕ по модулям;
- 4) на странице «ПланСвод», продемонстрированной на рис. 1, определяется количество отводимых ЗЕ на изучение УЕ каждого семестра обучения, а также выясняется, является ли УЕ обязательной для освоения.

Использование вышеописанных данных позволяет устранить неоднозначность в данных (различие имен одинаковых сущностей и разные форматы заполнения), а также определить итоговые данные в различных разрезах:

- 1) интегральные характеристики по каждому отдельному семестру УП, по всем семестрам УП, по всей совокупности УП;
- 2) характеристики, определяющие силу междисциплинарных связей;
- 3) данные о графовых моделях УП;
- 4) процентные распределения трудоемкости формирования компетенций и индикаторов их достижения.

Итоговый результат SPA-SFU2 возможно применять для таких целей, как попарное сравнение УП между собой с целью выявления наиболее удачных моментов (порядка следования УЕ, определенных для УЕ формируемых компетенций, распределения нагрузки на УЕ), выявление типового УП для различных вузов для одинаковой ОП, а также определение специфичных ситуаций, которые возникают в случае большого отклонения от средней величины некоторой из характеристик УП (например, ситуации, когда большое количество процентов всей нагрузки отводится на формирование общепрофессиональных компетенций, что снижает нагрузку на иные компетенции, т.к. их суммарное количество строго нормировано в ФГОС ВО<sup>5</sup>).

Произведен анализ 49 УП Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Отметим, что анализ УП ничем не различается для уровней образования (бакалавриат, специалитет, магистратура), направлений подготовки и принадлежности вузу, т.к. их источником является ИС «Планы». Данный факт позволяет масштабировать исследование и повторно воспроизводить его в любых учреждениях, использующих ИС «Планы» для работы с УП.

Для понимания эффективности SPA-SFU2 в решении задачи анализа данных УП отметим его ключевые особенности: разработан программный комплекс на языке C++ с использованием минимально возможного количества сторонних библиотек (используется только библиотека

<sup>5</sup> <https://www.fgosvo.ru>. Дата обращения 28.09.2025. / Accessed September 28, 2025. (In Russ.).

1	Название параметра	Значение параметра
2	Каталоги данных УП	plans\grad
3	Каталоги вывода результата	result\grad
4	Делить ЗЕ у компетенции на количество компетенций	да
5	Выводить % долю индикатора от всех ЗЕ УП	да
6	Граф неориентированный	да
7	Использовать многоуровневые индикаторы	нет
8	Максимальная длина названия дисциплин	15
9	Регулярное выражение разбивки индикатора	$(\{1,\}.{0,}-\{1,\})\{0,\}$
10	Регулярное выражение разбивки индикатора (доп.)	$\{1,\}.{0,}-\{d{1,\}\}\{1,\}.{0,}-\{1,\}$
11	Регулярное выражение разбивки компетенции	$\{1,\}\{0,\}-\{1,\}$
12	Сколько семестров в одном курсе	2
13	Количество квартилей	4
14	Компетенций много, если их число больше X =	6
15	Усечение среднего для квартилей	0.05
16	Создавать ребро, если его вес больше X =	0.001
17	L – ЗЕ левой вершины R – ЗЕ правой вершины A – суммарное количество ЗЕ N – суммарное количество дисциплин K – мощность пересечения по компетенциям D – мощность пересечения по дисциплинам Поддерживаются операторы +, -, *, /, ^ (степень), mod, abs, sin, cos, log	Можно использовать любые формулы, например: 1) Из SPA-SFU версии № 1: $((L + R) / (2 * A)) * K$ 2) Среднеарифметическое: $((L + R) / 2) * K$ 3) Среднегеометрическое: $((L * R) ^ (1 / 2)) * K$
18	Вес ребра графа, где вершина – это дисциплина	$(5 * (L + R) / (A)) * K$
19	Вес ребра графа, где вершина – это компетенция	$(5 * (L + R) / (A)) * D$

Рис. 2. Фрагмент конфигурационного файла программы

OpenXLSX<sup>6</sup> для оперирования с Excel-таблицами), что позволяет ему оперировать со всей совокупностью данных 10 УП менее чем за секунду (в одном УП более 2 тыс. анализируемых ячеек, а вместе с подсчитанными SPA-SFU2 данными по завершению выполнения программы их становится более 10 тыс.).

В исследовании использованы графовые представления УП, что является стандартным подходом при анализе УП и используется во многих исследованиях [9, 10]. Графовое представление позволяет получить метрики для определения гипотез относительно корректности структуры УП. Программный комплекс SPA-SFU2 вычисляет данные УП о соответствующей ему графовой модели. Существует множество способов представить УП в виде графа, но в настоящем исследовании выбрано 4 основных. В каждом из способов ребра между вершинами рассчитываются по формуле, указанной в конфигурационном файле (рис. 2, строка 18). Отметим, что используется формула, которая учитывает количество совпадающих компетенций (чем больше количество совпадений, тем больше вес ребра) и трудоемкость, измеряемую в ЗЕ.

Перечислим способы построения графовой модели УП:

- 1) «Стандартная» графовая модель, где множеству вершин соответствуют УЕ, а ребра между

вершинами указывают на междисциплинарную связь по пересечению в перечне формируемых компетенций. Вес вершины соответствует трудоемкости УЕ (сколько ЗЕ отводится под ее освоение), а вес ребра соответствует количеству совпавших компетенций (более подробно данная модель описана в [11]).

- 2) «Расширенная» графовая модель, где множеству вершин соответствуют УЕ с градацией на семестры обучения. Одной УЕ может принадлежать несколько вершин, если ее освоение проводится в несколько семестров. В работе [12] для анализа УП используется аналогичное графовое представление.
- 3) «Обратная» графовая модель, где множеству вершин соответствуют компетенции. Для данной модели в конфигурационном файле программы предусмотрена дополнительная формула (рис. 2, строка 19). Схожая модель используется в [13].

В настоящем исследовании использован метод математической статистики. На основе данных УП определяются меры центральной тенденции и подсчитывается квартильное распределение. Данные о графовых моделях хранятся в виде списка смежности, что позволяет достичь наилучшей асимптотики алгоритмов. Так, например, подсчет глобального коэффициента кластеризации (назначение которого указывается в [14]) имеет асимптотику  $O(|V| \times |E|)$ , где  $|V|$  – количество вершин,  $|E|$  – количество ребер. Описание данного алгоритма представлено

<sup>6</sup> <https://github.com/troldal/OpenXLSX>. Дата обращения 28.09.2025. / Accessed September 28, 2025.

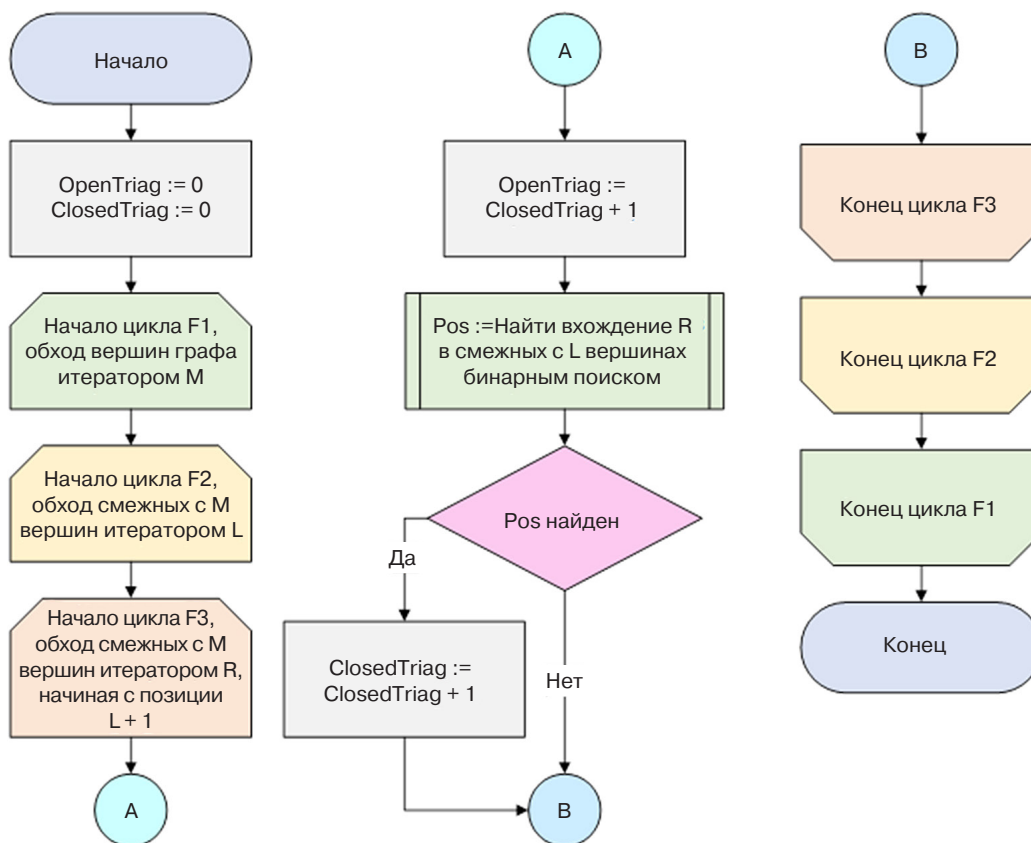


Рис. 3. Блок-схема алгоритма подсчета глобального коэффициента кластеризации графа

на рис. 3. Применение бинарного поиска становится возможным благодаря хранению номеров вершин в списке смежности в возрастающем порядке. Переменная *OpenTriag* используется для подсчета и хранения количества «открытых треугольников», т.е. состояний, когда для трех точек образуются только два из трех возможных соединений. Аналогичное назначение у переменной *ClosedTriag*, только для состояния, когда для трех точек образуются все три соединения. Коэффициент кластеризации равен отношению *ClosedTriag* к *OpenTriag*. Как можно заметить, его значение не превышает единицу.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ

Программный комплекс *SPA-SFU2* представлен в виде консольного приложения, принимающего на вход *Excel*-таблицы из ИС «Планы» и по завершению создающего каталоги с *Excel*- и *csv*-таблицами. Выбор *Excel*-формата УП обусловлен его наглядностью для пользователя, а также простотой его редактирования и перестройки под другие задачи учебной аналитики. Например, пользователь может указать преподавателей УЕ вместо компетенций для того, чтобы определить распределение итоговой учебной нагрузки между ними. Отметим, что *SPA-SFU2* разработан с применением модульной архитектуры, которая

позволяет дополнять программный комплекс новым функционалом без изменения имеющегося, что, к примеру, при необходимости делает возможным добавление модуля обработки УП, в т.ч. и *xml*-формата.

Управление программой происходит посредством настройки ее параметров в конфигурационном файле (рис. 2, левый столбец перечисляет названия параметров, а правый – их значения). Присутствует возможность указать несколько независимых выборов УП (рис. 2, строка 2, в указанном каталоге данных УП находится несколько подкаталогов с таблицами *Excel*), каким образом проводить расчеты (рис. 2, строки 4–7), регулярные выражения для получения данных из ячеек *Excel*-таблиц (рис. 2, строки 9–11), пороговые значения (рис. 2, строки 12–16) и формулы, по которым проводятся вычисления (рис. 2, строки 17–19).

На рис. 4 изображена диаграмма «сущность – связь» в нотации Мартина [15], соответствующая базе данных разработанного программного обеспечения (ПО). Для удобства обозначения диаграммы, префикс перед именем поля указывает на его тип данных. Так, например, строковый тип данных поля *sName* из таблицы *DTCurricula* хранит в себе название УП. Цвета таблиц, как и их префикс в названии, указывают на их назначение: *DT* обозначает таблицу хранения данных, *R* – связующую таблицу, *Matrix* – таблицу хранения двумерного массива данных.



Рис. 4. Диаграмма «сущность – связь» базы данных программы

Архитектура программного комплекса основывается на правилах проектирования SOLID<sup>7</sup> [16]. Таблица RGlobal (п. 1 на рис. 4) объединяет различные способы: а) ввода данных из DTSolve (п. 2 на рис. 4),

<sup>7</sup> S (single responsibility principle) – принцип единственной ответственности; O (open-closed principle) – принцип открытости-закрытости; L (Liskov substitution principle) – принцип подстановки Барбары Лисков; I (interface segregation principle) – принцип разделения интерфейса; D (dependence inversion principle) – принцип инверсии зависимостей. [S is the single responsibility principle; O is the open-closed principle; L is the Liskov substitution principle; I is the interface segregation principle; D is the dependence inversion principle.]

что позволяет вводить параметры ПО не только через конфигурационный файл; б) агрегирования из DTAdapter (п. 3 на рис. 4), что позволяет использовать собственные способы построения графовой модели УП; в) вывода из DTOutData (п. 4 на рис. 4), что позволяет варьировать способы отображения данных, например, выгружать их напрямую в системы бизнес-аналитики, а не только в табличные файлы. Основной таблицей ПО является DTCurricula (п. 5 на рис. 4), в которой хранятся полученные на входе данные об УП. Все прочие таблицы хранят в себе данные, подсчитанные при помощи ПО.

**Таблица 2.** Метрики графовой модели двух УП бакалавриата

Название УП	09.03.02.30	09.03.03.33	Название УП	09.03.02.30	09.03.03.33
Коэффициент кластеризации	<b>0.92</b>	<b>0.43</b>	Плотность графа	0.14	0.12
Максимальное количество ЗЕ у УЕ	10 ЗЕ	15 ЗЕ	Минимальное количество ЗЕ у УЕ	2 ЗЕ	2 ЗЕ
Диаметр графа по весу	1.01	1.36	Диаметр графа по вершинам	5 вершин	4 вершины
Количество компонент связности	10	3	Пары несвязанных вершин	895 пар	89 пар
Вес максимального остовного дерева	10.86	16.34	Вес минимального остовного дерева	7.21	8.04

Для подсчета коэффициента кластеризации, описанного в методах исследования, используется список смежности, обозначенный на диаграмме как *MatrixAdjacencyList* (п. 6 на рис. 4), для улучшения итоговой асимптотики алгоритма до минимально возможной. Благодаря коэффициенту кластеризации графа возможно сделать выводы о том, насколько сильно взаимосвязаны УЕ между собой.

В табл. 2 показано, как отличаются графовые характеристики двух УП с максимальным (УП 09.03.02.30) и минимальным (УП 09.03.03.33) коэффициентами кластеризации по всей выборке УП бакалавриата (характеристика выделена жирным шрифтом, данная графовая модель обозначена как «стандартная» в разделе методов настоящего исследования), а на рис. 5 продемонстрирован возможный вариант их визуализации посредством программного комплекса *Gephi*<sup>8</sup>.

На рис. 5 в левой части представлена графовая модель УП 09.03.02.39, в правой части – УП 09.03.03.33. Каждый узел выражает УЕ, название которой указано в сокращенном варианте. Чем больше размер узла, тем больше его вес, выражающийся в ЗЕ, отводимых на изучение УЕ. Располагаются узлы снизу-вверх в зависимости от семестра, в котором они преподаются. Чем выше расположение узла, тем больше номер семестра (например, дисциплина «Бизнес-процессы в медиаиндустрии», именованная в графе для удобства визуализации в сокращенном варианте как «БизМедиа», преподается в 8 семестре бакалавриата). Одним цветом выделены УЕ, которые преподаются в одном семестре (все красные узлы преподаются в 1 семестре). Ребра между узлами указывают на междисциплинарную связь и рассчитываются по формуле, представленной на рис. 2 в 18 строке (пользователь может изменять формулу на произвольную). Чем больше ЗЕ отводится на изучение УЕ и чем больше компетенций совпало у УЕ, тем больше вес ребра между ними.

Если нет совпадающих компетенций, то вес равен нулю и ребро отсутствует.

Как можно видеть из табл. 2, подсчитанных суммарных характеристик достаточно для того, чтобы сделать предварительные заключения, а именно: в УП 09.03.02.30 «Информационные системы и технологии» присутствует большое количество компонент связности (областей, в которых существует путь между любыми двумя вершинами). Чем больше значение, тем более разнородны УЕ по своему перечню формируемых компетенций. В табл. 2 указаны и другие графовые характеристики, которые могут помочь определить качество УП при его экспертной оценке [17]: диаметр графа указывает на разрозненность компетенций между собой; плотность графа и вес остовного дерева – на суммарную силу междисциплинарных связей [11], количество несвязанных дисциплин – на разрозненность дисциплин по формируемым компетенциям.

Большой коэффициент кластеризации свидетельствует о том, что большинству УЕ соответствует идентичный перечень компетенций. Это говорит о том, что составители УП недостаточно внимательно отнеслись к задаче установления соответствия УЕ перечню формируемых ими компетенций и, возможно, произвели копирование одних и тех же данных в разные ячейки. В УП 09.03.03.33 «Прикладная информатика: цифровая экономика», напротив, каждой УЕ определен свой уникальный перечень компетенций.

Помимо графовой представления, *SPA-SFU2* вычисляет данные о количестве УЕ в зависимости от их принадлежности к виду (обязательные, по выбору, факультативные) и типу (гуманитарные, технические и естественнонаучные), а также то, сколько ЗЕ отводится на их изучение. Полученные данные явно указывают на специфику УП в зависимости от преобладания определенного типа дисциплин (например, возможно различное соотношение гуманитарных УЕ разных УП у смежных направлений подготовки, что демонстрирует их специфику).

<sup>8</sup> <https://gephi.org>. Дата обращения 28.09.2025. / Accessed September 28, 2025.

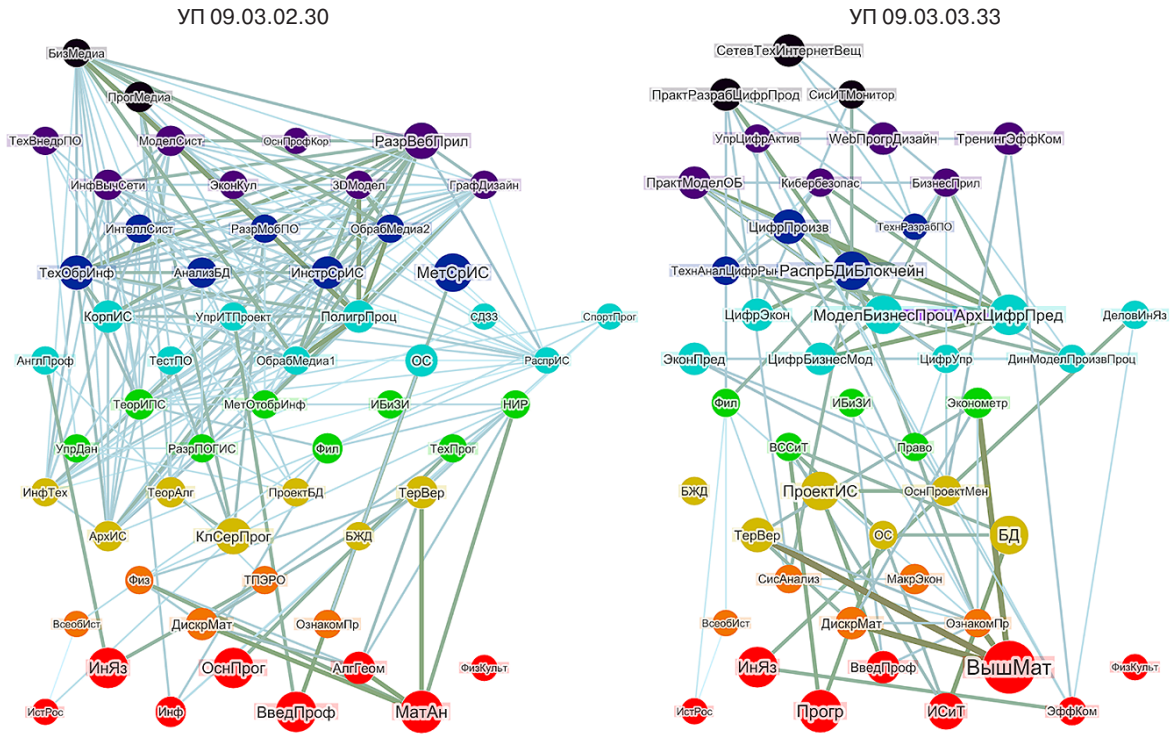


Рис. 5. Визуализация графовой модели УП по всем семестрам обучения.

ИнфТех – Информационные технологии;  
 ОзнакомПР — Ознакомительная практика;  
 НИР — Научно-исследовательская работа;  
 АрхИС – Архитектура ИС;  
 ТеорАлг – Теория алгоритмов;  
 УпрДан – Управление данными;  
 ТеорИПС – Теория информационных процессов и систем;  
 КлСерПрог – Клиент-серверное программирование;  
 ПроектБД – Проектирование баз данных;  
 АнглПроф – Английский язык для профессиональных целей;  
 ТехОбрИнф – Технологии обработки информации;  
 КорпИС – Корпоративные ИС;  
 ИнтеллСист – Интеллектуальные системы и технологии;  
 ТехВнедрПО – Технологии внедрения ПО;  
 ТестПО – Тестирование и контроль качества ПО;  
 РазрПОГИС – Разработка ПО геоинформационных систем;  
 УпрИТПроjekt – Управление проектами информационных технологий;  
 АнализБД – Анализ больших данных;  
 РазрМобПО – Разработка мобильного ПО;  
 МетОтобрИнф – Методы и средства отображения информации;  
 ИнфВысСети – Информационно-вычислительные сети;  
 МоделСист – Моделирование процессов и систем;  
 ИнстрСрИС – Инструментальные средства ИС;  
 ЭконКул – Экономическая культура и финансовая грамотность;  
 ОснПрофКор – Основы профилактики коррупции;  
 3DМодел – Трёхмерное моделирование и анимация;  
 РазрВебПрил – Разработка Web-приложений;  
 БизМедиа – Бизнес-процессы в медиаиндустрии;  
 ОбрабМедиа1 – Обработка медиаконтента, часть 1;  
 ОбрабМедиа2 – Обработка медиаконтента, часть 2;  
 ПолигрПроц – Полиграфический процесс;  
 ПрогМедиа – Программные средства медиаиндустрии;  
 ГрафДизайн – Графический дизайн интерфейса;  
 Фил – Философия;  
 ИстРос – История России;  
 ВсеобИст – Всеобщая история;  
 ИнЯз – Иностранный язык;  
 БЖД – Безопасность жизнедеятельности;  
 Физ – Физика;  
 Инф – Информатика;  
 ОснПрог – Основы программирования;  
 ВведПроф – Введение в профессиональную деятельность;  
 АлгГеом – Алгебра и геометрия;  
 МатАн – Математический анализ;  
 ДискрМат – Дискретная математика;  
 ТерВер – Теория вероятности и математическая статистика;

ТПЭРО – Теория и практика эффективного речевого общения;  
 ТехПрог – Технологии программирования;  
 МетСрИС – Методы и средства проектирования ИС и технологий;  
 ОС – Операционные системы;  
 ФизКульт – Физическая культура и спорт;  
 СДЗЗ – Системы дистанционного зондирования Земли;  
 РаспрИС – Распределенные ИС;  
 СпортПрог – Спортивное программирование;  
 ЭконПред – Экономика предприятия;  
 ЦифрЭкон – Цифровая экономика;  
 ЦифрБизнесМод – Цифровые бизнес-модели;  
 МоделБизнесПроц – Моделирование бизнес-процессов;  
 ЦифрУпр – Цифровое управление;  
 ТехАналЦифрРын – Технологии анализа цифровых рынков;  
 АрхЦифрПред – Архитектура цифрового предприятия;  
 ДинМоделПроизвПроц – Динамическое моделирование  
 производственных процессов;  
 ЦифрПроизв – Цифровое производство;  
 ДеловИнЯз – Деловой иностранный язык;  
 РаспрБДИБлокчейн – Распределенные базы данных и технологии  
 блокчейн;  
 ПрактМоделОБ – Практикум: моделирование и оптимизация  
 бизнес-процессов;  
 УпрЦифрАктив – Управление цифровыми активами;  
 Кибербезопас – Кибербезопасность;  
 ВебПрогрДизайн – Web-программирование и компьютерный дизайн;  
 ПрактРазрабЦифрПрод – Практикум: разработка цифрового продукта;  
 БизнесПрил – Бизнес-приложения;  
 СетевТехИнтернетВещ – Сетевые технологии и интернет вещей;  
 ТренингЭффКом – Тренинг «Эффективные коммуникации»;  
 СисИТМонитор – Системы ИТ-мониторинга социально-экономиче-  
 ского развития;  
 ВССИТ – Вычислительные системы, сети и телекоммуникации;  
 СисАнализ – Системный анализ;  
 Прогр – Программирование;  
 ИСИТ – Информационные системы и технологии;  
 ВышМат – Высшая математика;  
 ЭффКом – Эффективная коммуникация;  
 ИБизи – Информационная безопасность и защита информации;  
 Право – Право;  
 ПроектИС – Проектирование ИС;  
 ОснПроектМен – Основы проектного менеджмента;  
 БД – Базы данных;  
 МакрЭкон – Макроэкономика;  
 Эконометр – Эконометрика;  
 ТехнРазрабПО – Технология разработки ПО

**Таблица 3.** Генерируемая программой таблица агрегированных данных УП бакалавриата 1 курса

Название	Количество по выбору	Максимальный вес ребра	Минимальный вес ребра	Диаметр графа	Коэффициент кластеризации	1 квартиль	2 квартиль	3 квартиль	4 квартиль	Несвязанные вершины
01.03.04.30	0	0.371	<i>0.087</i>	0.371	1.000	9	<u>9</u>	5	1	67
09.03.01.30	0	0.341	0.091	0.614	0.805	3	6	7	7	55
09.03.02.30	0	0.338	0.090	0.338	1.000	2	3	3	0	70
09.03.03.32	0	0.461	0.092	0.461	0.000	3	2	0	2	71
09.03.03.31	0	0.459	0.092	0.459	0.000	3	2	0	2	71
09.03.03.33	0	0.446	0.089	<u>0.692</u>	0.333	4	2	4	7	61
09.03.03.35	0	0.439	0.088	0.439	0.000	3	2	0	2	71
09.03.04.30	0	0.369	0.099	0.591	0.800	2	4	1	5	66
10.03.01.31	0	0.376	<u>0.111</u>	0.376	1.000	<i>1</i>	4	2	1	70
15.03.04.32	<u>27</u>	<u>0.766</u>	0.106	0.468	0.917	<u>10</u>	4	<u>13</u>	<u>12</u>	<u>39</u>
27.03.03.30	11	0.670	0.089	0.580	0.882	3	3	4	8	60
27.03.04.30	<i>3</i>	<i>0.332</i>	0.088	<i>0.331</i>	1.000	2	4	4	0	68
Медиана	11	0.439	0.091	0.461	0.882	3	4	4	2	68
Мода	0	–	0.089	–	1.000	3	3	2	2	71
Усеченное среднее	13.667	0.447	0.094	0.477	0.645	3	3	3	3	64

Другими вычисляемыми *SPA-SFU2* данными являются процентные распределения ЗЕ, отводящихся на формирование групп компетенций (в ФГОС ВО<sup>9</sup> определены 3 группы компетенций: универсальные, общепрофессиональные и профессиональные). С их помощью можно понять, какой группе компетенций отдается приоритет, а также то, насколько профильным является направление подготовки, которому соответствует УП.

Для выявления отклонений в УП от их усредненного варианта по всей выборке УП по каждой метрике подсчитываются меры центральной тенденции (по каждому параметру УП *SPA-SFU2* рассчитывает максимальное и минимальное значения, моду, медиану и среднее значение), позволяющие определить наиболее отличающийся УП на фоне остальных. В табл. 3 представлены метрики графовой модели УП бакалавриата 2021 г. начала подготовки с учетом только 1 курса обучения. Как можно заметить, только у двух УП имеются дисциплины по выбору на первом году обучения.

Также можно заметить, что у УП 09.03.03.31 «Интернет технологии и мобильные приложения» в качестве глобального коэффициента кластеризации указан нуль (табл. 3, столбец 6 «Коэффициент

кластеризации»), что означает, что никакие три УЕ не формируют одинаковую компетенцию на первом году обучения. В столбцах 8–11 указано квартильное распределение длин минимальных расстояний между всеми парами вершин. Фактически, все расстояния всех УП исследования (10 УП бакалавриата) объединены в один массив, отсортированы, и каждое значение соотносено одному из 4 квартилей. К первому квартилю относятся пары вершин, между которыми относительно небольшое расстояние в графовой модели, а к четвертому – наоборот. Ситуация, когда между вершинами нет маршрута, относится к группе «Несвязанные вершины».

Как можно видеть в табл. 3, по каждой вычисленной мере определены минимальные и максимальные значения, а также другие меры центральной тенденции. Процент усечения среднего значения задается в конфигурационном файле программы (рис. 2, строка 15). Если в ячейке указан прочерк, значит, у значения отсутствует информативность (например, если все значения одинаковые или все значения разные, то значение моды не указывается). Уникальные максимальные значения выделены подчеркиванием, минимальные – выделены курсивом. Также у всех значений сокращено количество знаков после запятой для большей наглядности. Из табл. 3 также видно, что на фоне остальных выделяется УП 15.03.04.32 «Автоматизация технологических

<sup>9</sup> <https://www.fgosvo.ru/news/view/5720>. Дата обращения 28.09.2025. / Accessed September 28, 2025. (In Russ.).

```
1 Компетенции(2) [строка 61] : В учебном плане
2 R:/grad_sfu/2703040030_op-21.plm.plx.xlsx не указаны компетенции у дисциплины
  с индексом В2.В
3 - Учебный план R:/grad_sfu/2703040030_op-21.plm.plx.xlsx обработан с недочетами
4
5 - В учебном плане R:/grad_sfu/2703040030_op-21.plm.plx.xlsx не найдена дисциплина
  с индексом ОПК-7 (1)
```

Рис. 6. Фрагмент генерируемого программой лог-файла

процессов и производств» (строка серого цвета), т.к. в его метриках наиболее часто присутствуют минимальные и максимальные значения относительно всех анализируемых УП бакалавриата. Оказалось, что данный УП действительно имеет свои особенности, например, это единственный УП, в рамках которого преподают УЕ «Химия» и УЕ «Экология» в рамках всех направлений подготовки института в области информационных технологий.

Также для помощи пользователю *SPA-SFU2* в нахождении спорных моментов формата заполнения УП генерируется лог-файл (рис. 6), в котором указаны особенности обработки УП и возникшие в его процессе недочеты. Так, например, посредством анализа ошибок, сгенерированных лог-файлом, обнаружено, что в УП 27.03.04 «Управление в технических системах» ОПК-7 формируется только за счет практик (цифра 1), которые исключены из анализа, т.к. для них определена в качестве формируемых вся совокупность компетенций УП.

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка качества ОП (подробно о качестве [18]) в контексте эффективности достижения образовательных результатов представляет собой сложную многофакторную задачу, привлекающую внимание как академических исследователей, так и разработчиков коммерческих образовательных платформ [19]. Например, трудности могут быть связаны с неоднозначностью критериев оценивания ОП, в частности, высокой вариативностью процента распределения трудоемкости формирования различных групп компетенций на разных этапах обучения.

В качестве начального этапа оценки качества ОП предлагается рассматривать задачу исследования УП с точки зрения анализа состава и структуры ОП. При этом традиционные методы оценки УП (экспертные оценки, табличные сравнения) не столь эффективны, как программные методы, из-за субъективности мнений [20], невозможности проанализировать большое количество УП за ограниченный срок, ошибок выполнения анализа и т.п. В связи с этим разработка программных инструментов поддержки анализа УП, как первого шага оценки качества ОП, представляется актуальной задачей.

Рекомендуется для принятия решений по модернизации УП, применению полученного опыта при создании новых УП и ОП использовать представленные в работе программные методы, которые выражены в следующих действиях:

- 1) предобработка: приведение данных к единому формату для удобства их дальнейшего использования и расширения возможностей их обработки;
- 2) обработка: извлечение из всей совокупности данных, получаемых из *Excel*-таблицы ИС «Планы», тех данных, которые необходимы для дальнейшего анализа интересующих исследователя характеристик;
- 3) анализ: вычисление агрегированных данных на основе полученных при обработке, например, тех, которые явно указывают на особенности УП;
- 4) визуализация: отображение полученных при анализе данных в удобной для исследователя форме представления для оперативного и точного принятия решения на их основе [21].

Обратим внимание на проблемы внедрения таких программных инструментов, связанные с уточнением характеристик УП, их калибровкой на основе экспертного мнения и определением их связи с другими характеристиками обучения по ОП, например, сохранностью контингента, процентом трудоустройства выпускников и пр. Программные методы, предложенные в работе, полезны для решения вышеописанных проблем и способствуют развитию автоматизированных инструментов для принятия решений на основе данных.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены программные методы обработки, анализа и визуализации УП, реализация которых осуществлена в программном комплексе *SPA-SFU2*. С его помощью удается с минимальными затратами сравнить УП между собой, определить их особенности по числовым характеристикам и найти причины сильного отклонения этих характеристик от среднего значения. *SPA-SFU2* явно указывает на проблемные места УП для принятия решения об их исправлении, помогает определить возможные

недочеты УП, разобраться в получившейся компетентностной составляющей и определить неявные закономерности содержащихся в них данных.

Визуализация УП посредством *SPA-SFU2* позволяет быстрее и точнее понимать внутреннюю структуру УП и ее характерные отличия. *SPA-SFU2* может быть полезен для демонстрации абитуриентам, обучающимся и преподавателям характеристик УП, например, процентного распределения на группы компетенций или демонстрации визуализаций взаимосвязей УЕ посредством графового представления.

Возможно использовать *SPA-SFU2* при создании новых УП, обеспечивающих оптимизацию планируемого учебного процесса, формирование которых основано на сравнительном анализе с другими УП по смежным направлениям подготовки, что обеспечивает их уникальность и эффективность.

Программный комплекс для анализа УП *SPA-SFU2* является необходимым звеном для разработки ИС комплексной учебной аналитики и может служить элементом цифровой экосистемы вуза.

На данный момент программный комплекс *SPA-SFU2*, представленный в настоящем исследовании, не является полностью автоматизированным, из-за чего принятие решений на основе полученных им характеристик требует мнения эксперта. Данную проблему возможно решить внедрением в *SPA-SFU2* подходов, связанных с моделированием искусственного интеллекта (применение нейронных сетей или имитация искусственного интеллекта путем накопления сценариев поведения в заранее указанных ситуациях).

В перспективе для полной автоматизации обработки, анализа и визуализации УП, а также большего

охвата их полезных характеристик, планируется решить следующие задачи в указанной очередности:

- 1) получить и сопоставить сведения, внешние по отношению к ОП (например, данные об успеваемости обучающихся, результаты анкетирования и сведения о трудоустройстве выпускников), с полученными и подсчитанными *SPA-SFU2* характеристиками УП;
- 2) внедрить сложные цифровые решения, основанные на принципах искусственного интеллекта и обработки больших данных;
- 3) отыскать иные способы визуализации характеристик УП для демонстрации их особенностей, не представленных в исследовании.

#### **Вклад авторов**

**Е.А. Халтурин** – разработка методологии исследования, подготовка первоначального варианта рукописи, обзор литературы, редактирование текста рукописи, разработка и представление программных методов.

**А.А. Кытманов** – общее руководство, создание концепции исследования, постановка проблемы исследования, подготовка первоначального варианта рукописи, редактирование текста рукописи.

**Ю.В. Вайнштейн** – обсуждение результатов исследования, редактирование текста рукописи.

**Т.В. Зыкова** – формальный анализ, практическое использование результатов исследования.

#### **Authors' contributions**

**E.A. Khalturin** – methodology, original draft preparation, review and editing, presenting software methods.

**A.A. Kytmanov** – supervision, conceptualization writing, research problem, original draft preparation and editing.

**Yu.V. Vaynshteyn** – discussion, editing.

**T.V. Zykova** – formal analysis, practical application.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Королькова И.А., Зайцев С.А. Современные факторы, влияющие на формирование ИТ компетенций у обучающихся. В сб.: *Цифровая трансформация социальных и экономических систем: материалы международной научно-практической конференции*. М.: Московский университет им. С.Ю. Витте. 2023. С. 264–268. <https://www.elibrary.ru/qbzuya>
2. Ширинкина Е.В. Методы интеллектуального анализа данных и образовательной аналитики. *Современное образование*. 2022;1:51–67. <https://www.elibrary.ru/dinnow>, <https://doi.org/10.25136/2409-8736.2022.1.37582>
3. Kustitskaya T.A., Esin R.V., Kytmanov A.A., Zykova T.V. Designing an Education Database in a Higher Education Institution for the Data-Driven Management of the Educational Process. *Education Sciences*. 2023;13(9):947. <https://www.elibrary.ru/jnyekv>, <https://doi.org/10.3390/educsci13090947>
4. Jarke J., Breiter A. Editorial: The datafication of education. *Learning, Media and Technology*. 2019;44(1):1–6. <https://doi.org/10.1080/17439884.2019.1573833>
5. Hartong S., Piattoeva N. Contextualizing the datafication of schooling – a comparative discussion of Germany and Russia. *Critical Studies in Education*. 2021;62(2):227–242. <https://doi.org/10.1080/17508487.2019.1618887>
6. Pangrazio L., Selwyn N., Cumbo B. Tracking technology: exploring student experiences of school datafication. *Cambridge J. Education*. 2023;53(6):847–862. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2023.2215194>
7. Nouraey P., Al-Badi A., Riasati M.J., Maata R.L. Educational program and curriculum evaluation models: a mini systematic review of the recent trends. *Universal J. Educational Res*. 2020;8(9):4048–4055. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080930>
8. McCarthy A., Maor D., McConney A., Cavanaugh C. Digital transformation in education: Critical components for leaders of system change. *Social Sciences & Humanities Open*. 2023;8(1):100479. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100479>

9. Кузьмина Е.А., Низамова Г.Ф. Формирование учебного плана на основе графовой модели. *Информатика и образование*. 2020;4(5):33–43. <https://www.elibrary.ru/erhqxo>, <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2020-35-5-33-43>
10. Агеев Ю.Д., Федосеев С.В., Кавин Ю.А., Ворона С.Г., Павловский И.С. Оценка противоречивости логической структуры учебного плана. *Статистика и экономика*. 2018;5:73–80. <https://www.elibrary.ru/vpnnbq>, <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2018-5-73-80>
11. Зыкова Т.В., Кытманов А.А., Халтурин Е.А., Вайнштейн Ю.В., Носков М.В. Алгоритм анализа и оценки учебных планов образовательных программ. *Информатика и образование*. 2024;39(1):52–64. <https://www.elibrary.ru/unswxg>, <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-1-52-64>
12. Борзова А.С. Оптимизация компонентов содержания обучения в области эксплуатации воздушного транспорта на основе экспертного анализа с ориентацией на модель-ориентированный подход. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2017;3(18):14. <https://www.elibrary.ru/zrcvvd>. URL: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/08/Borzova\\_3\\_1\\_17.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/08/Borzova_3_1_17.pdf). Дата обращения 28.09.2025.
13. Курилова О.Л. Применение генетического алгоритма для оптимизации учебного плана. *Информационно-управляющие системы*. 2013;3(64):84–92. <https://www.elibrary.ru/qbpgth>
14. Дёмина А.Р., Юдин Е.Б. Расчет коэффициента кластеризации неполной сети с использованием параллельных вычислений. *Россия молодая: передовые технологии – в промышленность*. 2015;3:45–48. <https://www.elibrary.ru/uzeonx>
15. Hitchman S. The details of conceptual modelling notations are important – a comparison of relationship normative language. *Communications of the Association for Information Systems*. 2002;9(1):10. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.00910>
16. Губин А.С., Тутова Н.В. Анализ подхода к разработке приложений с «чистой» архитектурой. *Телекоммуникации и информационные технологии*. 2022;9(1):28–37. <https://www.elibrary.ru/nozmkq>
17. Кытманов А.А., Горелова Ю.Н., Зыкова Т.В., Пихтилькова О.А., Пронина Е.В. Концептуальный подход к цифровой трансформации образовательного процесса в вузе. *Russian Technological Journal*. 2024;12(5):98–110. <https://elibrary.ru/WAZLGB>, <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-5-98-110>
18. Корчак А.Э., Хавенсон Т.Е. Понятие «качество» в высшем образовании: от офлайн к онлайн-формату. *Высшее образование в России*. 2024;33(1):9–27. <https://elibrary.ru/WAZLGB>, <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2024-33-1-9-27>
19. Manolev J., Sullivan A., Slee R. The datafication of discipline: ClassDojo, surveillance and a performative classroom culture. In: *The Datafication of Education*. Routledge; 2020. P. 37–52. <https://doi.org/10.1080/17439884.2018.1558237>
20. Williamson B., Bayne S., Shay S. The datafication of teaching in Higher Education: critical issues and perspectives. *Teaching in Higher Education*. 2020;25(4):351–365. <https://doi.org/10.1080/13562517.2020.1748811>
21. Зыкова Т.В., Кытманов А.А., Носков М.В., Халтурин Е.А. Применение силового алгоритма визуализации графов для анализа учебных планов образовательных программ высшего образования. *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. 2023;19(1):104–116. <https://elibrary.ru/kzhowj>, <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.104-116>

## REFERENCES

1. Korolkova I.A., Zaytsev S.A. Modern factors of influence on IT education. In: *Digital Transformation of Social and Economic Systems: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Moscow: Moscow Witte University. 2023. P. 264–268 (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/qbzuya>
2. Shirinkina E.V. Methods of data mining and educational analytics. *Sovremennoe obrazovanie = Modern Education*. 2022;1:51–67 (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/dinnow>, <https://doi.org/10.25136/2409-8736.2022.1.37582>
3. Kustitskaya T.A., Esin R.V., Kytmanov A.A., Zykova T.V. Designing an Education Database in a Higher Education Institution for the Data-Driven Management of the Educational Process. *Education Sciences*. 2023;13(9):947. <https://www.elibrary.ru/jnyekv>, <https://doi.org/10.3390/educsci13090947>
4. Jarke J., Breiter A. Editorial: The datafication of education. *Learning, Media and Technology*. 2019;44(1):1–6. <https://doi.org/10.1080/17439884.2019.1573833>
5. Hartong S., Piattoeva N. Contextualizing the datafication of schooling – a comparative discussion of Germany and Russia. *Critical Studies in Education*. 2021;62(2):227–242. <https://doi.org/10.1080/17508487.2019.1618887>
6. Pangrazio L., Selwyn N., Cumbo B. Tracking technology: exploring student experiences of school datafication. *Cambridge J. Education*. 2023;53(6):847–862. <https://doi.org/10.1080/0305764X.2023.2215194>
7. Nouraey P., Al-Badi A., Riasati M.J., Maata R.L. Educational program and curriculum evaluation models: a mini systematic review of the recent trends. *Universal J. Educational Res.* 2020;8(9):4048–4055. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080930>
8. McCarthy A., Maor D., McConney A., Cavanaugh C. Digital transformation in education: Critical components for leaders of system change. *Social Sciences & Humanities Open*. 2023;8(1):100479. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100479>
9. Kuzmina E.A., Nizamova G.F. Curriculum development based on the graph model. *Informatika i obrazovanie = Informatics and Education*. 2020;4(5):33–43 (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/erhqxo>, <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2020-35-5-33-43>
10. Ageev Yu.D., Fedoseev S.V., Kavin Yu.A., Vorona S.G., Pavlovskiy I.S. Inconsistency evaluation of the curriculum logical structure. *Statistika i ekonomika = Statistics and Economics*. 2018;5:73–80 (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/vpnnbq>, <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2018-5-73-80>
11. Zykova T.V., Kytmanov A.A., Khalturin E.A., Vaynshteyn Y.V., Noskov M.V. Algorithm for analysis and evaluation of educational programs curricula. *Informatika i obrazovanie = Informatics and Education*. 2024;39(1):52–64 (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/unswxg>, <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-1-52-64>

12. Borzova A.S. Optimization of training components in the field of operation of air transport on the basis of expert analysis with orientation on the model-oriented approach. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*. 2017;3(18):14 (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/zrcvvd>. Available from URL: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/08/Borzova\\_3\\_1\\_17.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/08/Borzova_3_1_17.pdf). Accessed September 28, 2025.
13. Kurilova O.L. Application of genetic algorithm for curriculum optimization. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy = Information and Control Systems*. 2013;3(64):84–92 (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/qbpgth>
14. Demina A.R., Yudin E.B. Calculation of the clustering coefficient of an incomplete network using parallel computing. *Rossiia molodaya: peredovye tekhnologii – v promyshlennost' = Young Russia: Advanced Technology – in the Industry*. 2015;3:45–48 (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/uzeonx>
15. Hitchman S. The details of conceptual modelling notations are important – a comparison of relationship normative language. *Communications of the Association for Information Systems*. 2002;9(1):10. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.00910>
16. Gubin A.S., Toutova N.V. Analysis of the approach to developing applications with a “clean” architecture. *Telekommunikatsii i informatsionnye tekhnologii = Telecommunications and Information Technology*. 2022;9(1):28–37 (in Russ.). <https://www.elibrary.ru/nozmkq>
17. Kytmanov A.A., Gorelova Yu.N., Zykova T.V., Pikhtilkova O.A., Pronina E.V. A conceptual approach to digital transformation of the educational process at a higher education institution. *Russian Technological Journal*. 2024;12(5):98–110. <https://elibrary.ru/WAZLGB>, <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2024-12-5-98-110>
18. Korchak A.E., Khavenson T.E. Concept of “quality” in higher education: from offline to online mode. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. 2024;33(1):9–27 (in Russ.). <https://elibrary.ru/WAZLGB>, <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2024-33-1-9-27>
19. Manolev J., Sullivan A., Slee R. The datafication of discipline: ClassDojo, surveillance and a performative classroom culture. In: *The Datafication of Education*. Routledge; 2020. P. 37–52. <https://doi.org/10.1080/17439884.2018.1558237>
20. Williamson B., Bayne S., Shay S. The datafication of teaching in Higher Education: critical issues and perspectives. *Teaching in Higher Education*. 2020;25(4):351–365. <https://doi.org/10.1080/13562517.2020.1748811>
21. Zykova T.V., Kytmanov A.A., Noskov M.V., Khalturin E.A. Application of a force-directed graph drawing algorithm for the analysis of curricula of educational programs of higher education. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2023;19(1):104–116 (in Russ.). <https://elibrary.ru/kzhowj>, <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202301.104-116>

## Об авторах

**Халтурин Евгений Александрович**, старший преподаватель, кафедра информационных систем, Институт космических и информационных технологий, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (660041, Красноярск, пр-т Свободный, д. 79). E-mail: ekhalturin97@yandex.ru. SPIN-код РИНЦ 5324-8252, <https://orcid.org/0000-0001-9292-0370>

**Кытманов Алексей Александрович**, д.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой высшей математики – 3, Институт перспективных технологий и индустриального программирования, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: kytmanov@mirea.ru. Scopus Author ID 6602129708, SPIN-код РИНЦ 6866-6079, <https://orcid.org/0000-0003-3325-099X>

**Вайнштейн Юлия Владимировна**, д.пед.н., профессор, кафедра прикладной математики и анализа данных, Институт космических и информационных технологий, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (660041, Красноярск, пр-т Свободный, д. 79). E-mail: yweinstein@sfu-kras.ru. Scopus Author ID 57205328429, SPIN-код РИНЦ 9765-2130, <https://orcid.org/0000-0002-8370-7970>

**Зыкова Татьяна Викторовна**, к.ф.-м.н., доцент, кафедра прикладной математики и анализа данных, Институт космических и информационных технологий, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (660041, Красноярск, пр-т Свободный, д. 79). E-mail: tzykova@sfu-kras.ru. Scopus Author ID 57188699496, SPIN-код РИНЦ 1959-9769, <https://orcid.org/0000-0002-7332-2372>

## About the Authors

**Evgenii A. Khalturin**, Senior Lecturer, Department of Information System, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University (79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041 Russia). E-mail: ekhalturin97@yandex.ru. RSCI SPIN-code 5324-8252, <https://orcid.org/0000-0001-9292-0370>

**Alexey A. Kytmanov**, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Head of the Higher Mathematics Department – 3, Institute for Advanced Technologies and Industrial Programming, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: kytmanov@mirea.ru. Scopus Author ID 6602129708, RSCI SPIN-code 6866-6079, <https://orcid.org/0000-0003-3325-099X>

**Yuliya V. Vaynshteyn**, Dr. Sci. (Education), Professor, Department of Applied Mathematics and Data Science, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University (79, Svobodnyi pr., Krasnoyarsk, 660041 Russia). E-mail: yweinstein@sfu-kras.ru. Scopus Author ID 57205328429, RSCI SPIN-code 9765-2130, <https://orcid.org/0000-0002-8370-7970>

**Tatiana V. Zykova**, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Department of Applied Mathematics and Data Science, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University (79, Svobodnyi pr., Krasnoyarsk, 660041 Russia). E-mail: tzykova@sfu-kras.ru. Scopus Author ID 57188699496, RSCI SPIN-code 1959-9769, <https://orcid.org/0000-0002-7332-2372>