

DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-1-52-64

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Т. В. Зыкова¹ ✉, А. А. Кытманов^{1,2}, Е. А. Халтурин¹, Ю. В. Вайнштейн¹, М. В. Носков¹¹ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия² МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва, Россия

✉ zykovativ@mail.ru

Аннотация

Различным участникам образовательного процесса важно иметь возможность оценить качество образовательной программы, ее сбалансированность и соответствие заявленным образовательным результатам. Одним из способов анализа и оценки учебного плана образовательной программы высшего образования может стать представленный в статье алгоритм, реализованный на языке C++. Он позволяет вычислять различные статистические характеристики учебного плана (например, количество образовательных единиц (дисциплин) и их трудоемкость в зачетных единицах), а также относительный вклад образовательной единицы в формирование компетенций — образовательных результатов.

В виде отдельного программного модуля реализована сравнительная оценка основных расчетных показателей по нескольким учебным планам образовательных программ. В алгоритме реализован подход, позволяющий представить данные учебного плана в удобном для визуализации виде — как взвешенный неориентированный граф, вершины которого представляют собой дисциплины учебного плана, а ребра — междисциплинарные связи, демонстрирующие участие дисциплин в формировании одинаковых компетенций. Визуализация такого представления осуществлена с применением программного пакета Gephi.

Программная реализация предложенного в работе алгоритма может представлять практический интерес для научно-педагогических работников и административно-управленческого персонала образовательных учреждений высшего образования.

Ключевые слова: образовательная программа, учебный план, компетенции, образовательные результаты, компетентностный подход, междисциплинарные связи, графовая модель учебного плана, силовой алгоритм визуализации графа.

Для цитирования:

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. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-1-52-64.

THE ALGORITHM FOR ANALYSIS AND EVALUATION OF EDUCATIONAL PROGRAMS CURRICULA

T. V. Zyкова¹ ✉, A. A. Kytmanov^{1,2}, E. A. Khalturin¹, Yu. V. Vaynshteyn¹, M. V. Noskov¹¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia² MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia

✉ zykovativ@mail.ru

Abstract

It is important for various participants of the educational process to be able to assess the quality of the educational program, its balance, and compliance with the stated educational results. One of the ways to analyze and evaluate the curriculum of an educational program of higher education can be the algorithm presented in the article, implemented in C++. It allows to calculate various statistical characteristics of the curriculum (for example, the number of educational units (disciplines) and their labor intensity in credits), as well as the relative contribution of an educational unit to the formation of competencies (learning outcomes).

The comparative assessment of the main calculation indicators for several curricula of educational programs is implemented as a separate program module. The algorithm implements an approach that allows presenting the curriculum data in a convenient visualization form — as a weighted undirected graph, the vertices of which represent the disciplines of the curriculum, and the edges interdisciplinary links, demonstrating the participation of disciplines in the formation of the same competencies. Visualization of this representation was carried out using the Gephi software package.

The program implementation of the algorithm proposed in the article may be of practical interest to scientific and pedagogical staff and administrative and managerial personnel of educational institutions of higher education.

Keywords: educational program, curriculum, competencies, learning outcomes, competency-based approach, interdisciplinary links, graph model of curriculum, force-directed algorithm for graph visualization.

For citation:

Zykova T. V., Kytmanov A. A., Khalturin E. A., Vaynshteyn Yu. V., Noskov M. V. The algorithm for analysis and evaluation of educational programs curricula. *Informatics and Education*. 2024;39(1):52–64. (In Russian.) DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-1-52-64.

1. Введение

Цифровизация образовательного процесса включает в себя разные аспекты [1–3], среди которых разработка интерактивных адаптивных обучающих курсов [4, 5], проектирование личного кабинета обучающегося [6], создание систем поддержки успешности обучения, рекомендательных систем и других [7, 8]. Одной из важных задач цифровизации обучения является получение данных, на основе которых можно судить о проблемах, возникающих у обучающихся при освоении образовательной программы (ОП).

На сегодняшний день основным источником информации об освоении ОП являются данные промежуточной и итоговой аттестации студентов, а также данные о текущей успеваемости и посещаемости занятий студентами в разрезе конкретных дисциплин, если такая информация цифровизируется и является доступной. Подходы, состоящие в разработке предиктивных моделей на основе таких данных, являются весьма популярными и составляют значительную часть учебной аналитики [9–11]. Широко распространенной тенденцией становится применение независимой оценки качества образования [12].

Однако следует отметить, что успешность освоения ОП может зависеть не только от обучающихся [13], но и от качества самой программы, которое определяется ее педагогическим дизайном, уровнем проработанности составляющих ее дисциплин и практик, а также квалификацией профессорско-преподавательского состава, участвующего в ее реализации [3, 14].

Создание сбалансированного учебного плана (УП) в рамках разработки ОП является непростой задачей в силу влияния различных факторов, среди которых — изменения ФГОС [15, 16], требующие актуализации образовательных программ и модернизации УП, запросы и пожелания работодателей. Также стоит упомянуть реализацию в учебном процессе модели «2+2», по которой первые два года студенты изучают общеобразовательные дисциплины и только с третьего года определяют свою специализацию. Переход к такой модели требует унификации нагрузки на начальных курсах обучения, а следовательно, изменений в УП.

Если говорить о европейских способах оценки качества образовательных программ, то следует вспомнить, что еще в конце XX века ЮНЕСКО был инициирован подход, основанный на профессиональных навыках [17]. Затем возник проект Организации экономического сотрудничества и развития DeSeCo (*англ.* Definition and Selection of Competencies — определение и выбор компетенций), который привел к созданию Европейской эталонной системы ключевых компетенций¹.

¹ Recommendation of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 on key competences for lifelong learning. *Official Journal of the European Union (OJEU)*. 2006. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:394:0010:0018:en:PDF>

В контексте школьного образования стоит отметить активную реализацию проекта Education 2030², включающего в себя два основных направления:

- разработка концептуальной модели обучения, отвечающей целям и задачам развития до 2030 года;
- международный анализ ОП, включающий в себя сравнительный анализ, способствующий разработке и совершенствованию ОП, в том числе на основе компетентностного подхода.

В условиях серьезной образовательной конкуренции различным заинтересованным сторонам образовательного процесса хотелось бы иметь возможность оценить качество ОП, ее сбалансированность и соответствие заявленным образовательным результатам.

Целью нашего исследования является разработка подхода к анализу учебного плана как основного документа, отвечающего за педагогический дизайн ОП. Работа посвящена созданию и программной реализации алгоритма обработки данных УП и их представления в виде, подходящем для решения задачи выявления параметров, характеризующих качество ОП с точки зрения достижимости заявленных образовательных результатов.

2. Материалы и методы

В работе использовались методы анализа возможностей существующего программного обеспечения по созданию и работе с УП, выявления связей между реализуемыми компетенциями и учебными компонентами УП, в том числе на основе декомпозиции компетенций и учебных компонентов на составляющие с целью сопоставления осваиваемого материала с формируемыми образовательными результатами.

В качестве инструментов решения поставленных задач были использованы методы формализации, алгоритмизации и программирования на языке C++ в среде Microsoft Visual Studio, в том числе с использованием библиотеки OpenXLXS³ для получения данных из таблиц Microsoft Excel. Тестирование и отладка программы производилась на УП Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета по направлениям укрупненной группы 090000 «Информатика и вычислительная техника». Для визуализации графовой модели УП использовался программный пакет Gephi⁴.

² The future of education and skills: Education 2030. The future we want. Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD); 2018. 23 p. [https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf)

³ Инструкцию, примеры использования и пр. см.: <https://github.com/troldal/OpenXLXS>

⁴ Gephi. Makes Graphs Handy. The Open Graph Viz Platform. <https://gephi.org>

3. Результаты

3.1. Исходные данные и постановка задачи

Информационная система (ИС) «Планы», разработанная в ООО «Лаборатория ММИС»¹, является на сегодняшний день одним из самых распространенных программных комплексов для проектирования и хранения компонентов ОП, а также для работы с ними. Список образовательных организаций, использующих указанное программное обеспечение, содержит ведущие вузы России², в том числе Сибирский федеральный университет, в котором ИС «Планы» используется для разработки УП, рабочих программ дисциплин, планирования учебной нагрузки и создания индивидуальных планов преподавателей. Функционал ИС «Планы» позволяет экспортировать данные УП в файл электронных таблиц MS Excel в формате XLS. Результат операции экспорта представляет собой документ (рис. 1), содержащий информацию об обучении по ОП на отдельных страницах (вкладках).

Первая страница документа представляет собой титульный лист УП и содержит общую номенклатурную информацию о направлении и специализации. Следующая страница содержит календарный учеб-

ный график освоения ОП. Страницы «ПланСвод» и «План» содержат таблицы дисциплин с указанием распределения часов, зачетных единиц и форм контроля, сводные данные по бюджету времени (в неделях, часах, зачетных единицах). На следующих страницах описываются основные образовательные результаты (компетенции и их индикаторы, соответствующие дисциплинам). Далее в документе на отдельных страницах находятся таблицы, содержащие информацию по дисциплинам образовательной программы. Представлена информация о практиках, включая учебную, производственную и преддипломную, курсовых работах (проектах), государственной итоговой аттестации (ГИА). Предлагаемый в работе алгоритм получает такой файл в качестве входных данных.

ИС «Планы» позволяет произвести проверку УП по основным нормативным показателям:

- срок обучения;
- общая трудоемкость в зачетных единицах (ЗЕ) за учебный год или за весь срок обучения;
- максимальная учебная нагрузка (неделя, семестр, сессия);
- число часов, определенных на контактную работу, и т. д.

Однако в данной ИС не заложено инструментов, позволяющих отслеживать достижение основных образовательных результатов (распределение компетенций и их групп) по периодам обучения. Ее функционал не позволяет отследить распределение

¹ «Лаборатория ММИС»: автоматизация управления учебным процессом. <https://www.mmis.ru>

² Список клиентов «Лаборатории ММИС» см.: <https://www.mmis.ru/order/clients>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	Форма контроля					з.е.	Итого акад. часов		
2				Экзамен	Зачет	Зачет с оц.	КП	КР	Факт	По плану	Ауд.	СР
3	Считать в плане	Индекс	Наименование									
4	Блок 1. Дисциплины (модули)								210	7888	3740	3320
5	Обязательная часть								107	4180	2092	1620
6	+	Б1.О.01	Философия	4					4	144	54	54
7	+	Б1.О.02	История		12				4	144	72	72
8	+	Б1.О.02.01	История России		1				2	72	36	36
9	+	Б1.О.02.02	Всеобщая история		2				2	72	36	36
10	+	Б1.О.03	Иностранный язык	4	123				9	324	144	144
11	+	Б1.О.04	Безопасность жизнедеятельности		5				3	108	54	54
12	+	Б1.О.05	Физика	3	2				8	288	126	126
13	+	Б1.О.06	Информатика	1					4	144	54	54
14	+	Б1.О.07	Основы программирования	2	1				9	324	144	144
15	+	Б1.О.08	Введение в профессиональную деятельность	2	1				8	288	126	126
16	+	Б1.О.09	Алгебра и геометрия	1					5	180	72	72
17	+	Б1.О.10	Математический анализ	2	1				10	360	180	144
18	+	Б1.О.11	Теория и практика эффективного речевого общения		2				3	108	54	54
19	+	Б1.О.12	Дискретная математика	2					5	180	72	72

Рис. 1. Фрагмент страницы «План» УП по направлению 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Fig. 1. A fragment of the page "Plan" of the curriculum in the direction 09.03.01 "Informatics and Computer Engineering"

компетенций по составляющим УП, оценить их вклад в ОП. Поэтому закономерной задачей становится разработка и программная реализация алгоритма, позволяющего произвести предобработку данных УП и представить их в виде, удобном для анализа, выявления закономерностей и основных характеристик УП и ОП, а также сравнительного анализа ОП на основе различных подходов и методов, включая машинные и экспертные.

Предлагаемый нами алгоритм позволяет вычислять различные статистические характеристики УП, такие как количество образовательных единиц ОП и их трудоемкость (в ЗЕ) в зависимости от их типа:

- дисциплины (обязательные, формируемые участниками образовательных отношений, по выбору, факультативы);
- практики;
- ГИА.

Алгоритм также вычисляет относительный вклад образовательной единицы в формирование компетенций (результатов ОП). В виде отдельного программного модуля реализована сравнительная оценка основных расчетных показателей по нескольким загруженным учебным планам.

В алгоритме реализован подход, описанный в статье «Применение силового алгоритма визуализации графов для анализа учебных планов образовательных программ высшего образования» [18]. Он позволяет представить данные УП в виде, удобном для его визуализации: это взвешенный неориентированный граф, вершины которого — дисциплины УП, а ребра — междисциплинарные связи, демонстрирующие, что дисциплины участвуют в формировании одинаковых компетенций.

Визуальное представление связей в УП может помочь лучше понять его структуру, выявить дисциплины с максимальным числом междисциплинарных связей, а также произвести декомпозицию плана на кластеры наиболее связанных между собой дисциплин. Кроме этого, варьируя толщину ребра графа, определяемую трудоемкостью связанных дисциплин и мощностью множества пересечения их одинаковых компетенций, можно увидеть наиболее связанные между собой дисциплины УП. Наличие тесной связи между дисциплинами может косвенно свидетельствовать, например, о том, что они должны изучаться примерно в одно и то же время, таким образом давая подсказку разработчикам УП на стадии его создания.

3.2. Предобработка данных

На первоначальном этапе было необходимо реализовать программный модуль, производящий предобработку данных УП в части исправления погрешностей, возникающих из-за некорректного ввода данных в ИС «Планы» или особенностей заполнения УП, например, по разным направлениям подготовки или разным поколениям ФГОС. Задачей данного модуля было приведение данных к единому формату.

В данных были выявлены особенности, касающиеся различий в указании названий дисциплин и их индексации. Кроме этого, при преобразовании данных УП разных направлений подготовки в формат, необходимый для дальнейшей работы, из-за нестандартизированного оформления иногда возникали избыточные отступы.

Приведем основные типы погрешностей, исправление которых было реализовано в модуле предобработки.

Тип «А»: в разных УП данные о кодах компетенций располагаются в разных столбцах соответствующих таблиц (рис. 2). **Для исправления проблемы типа «А»** была использована следующая стратегия: определялись строки, после которых образовывались дополнительные смещения столбцов. Из этих строк выбиралось наименование, всегда находящееся в первом столбце. Данные наименования заносились в файл настроек программы до ее запуска с целью корректного определения и сопоставления компетенций.

Тип «Б»: в разных УП наименования идентичных дисциплин могут различаться. **Для исправления проблемы типа «Б»** была использована таблица псевдонимов, ставящая в соответствие различным вариантам наименования дисциплины единое. Данная таблица заполнялась до работы программы в специальном файле настройки.

3.3. Описание основного алгоритма

Далее были реализованы программные модули, вычисляющие общую статистику по УП, а также представляющие полученные данные в удобной для визуализации УП форме — в виде графа. Они получали на вход данные страниц «План» и «Компетенции» УП, прошедшие предобработку, описанную в предыдущем пункте.

Основной алгоритм вычисляет относительный вклад образовательных единиц УП в формирование компетенций и затем на их основе определяет вес междисциплинарных связей в соответствии с подходом, предложенным авторами в статье [18].

Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Поиск соответствий названий дисциплин и множества входящих в них компетенций.
2. Идентификация записи на вкладке «План» как названия дисциплины или модуля.
3. Перебор всех пар дисциплин с целью определения пересечения множеств связанных с ними компетенций для определения весов междисциплинарных связей.

Прежде чем перейти к более подробному описанию этапов алгоритма, рассмотрим ряд погрешностей, которые потребовали отдельного внимания. (Как и погрешности в п. 3.2, обозначим их буквами для удобства дальнейшего рассмотрения.)

Тип «В»: для некоторых образовательных единиц, таких, например, как «Преддипломная практика», указан полный набор компетенций, формируемых в ОП. Связь таких образовательных единиц

ОПК-8				Способен применять математические модели, методы и средства проектирования информационных и автоматизированных систем
	ОПК-8.1			Знать: математику, методологию и основные методы математического моделирования, классификацию и условия применения моделей, методы и средства проектирования информационных и автоматизированных систем, инструментальные средства моделирования и проектирования
		Б1.О.15		Технологии программирования
		Б3.01(Д)		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
	ОПК-8.2			Уметь: проводить моделирование процессов и систем с применением современных инструментальных средств
		Б1.О.15		Технологии программирования
		Б3.01(Д)		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
	ОПК-8.3			Иметь навыки: моделирования и проектирования информационных и автоматизированных систем
		Б1.О.15		Технологии программирования
		Б3.01(Д)		Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
Тип задач профессиональной деятельности:				Производственно-технологический
Лишнее смещение	ПК-1			Способность создания (модификации) и сопровождения информационных систем (ИС), автоматизирующих задачи организационного управления и бизнес-процессы в организациях различных форм собственности с целью повышения эффективности деятельности организаций — пользователей ИС
Лишнее смещение		ПК-1.1		Знать: основные подходы по выявлению первоначальных требований заказчика к типовой ИС, алгоритмы определения возможности достижения соответствия типовой ИС первоначальным требованиям заказчика, основные подходы тестирования прототипа ИС на корректность архитектурных решений и т. д.
Лишнее смещение			Б1.В.01	Информационные технологии

Рис. 2. Коды в разных столбцах страницы «Компетенции» УП

Fig. 2. Codes in different columns of the “Competencies” page of the curriculum

с другими является очевидной и не несет полезной информации. Для исправления проблемы типа «В» такие образовательные единицы по умолчанию исключались из дальнейшего рассмотрения.

Тип «Г»: неясно, является ли запись названием дисциплины или модуля, отвечающим за блок дисциплин. Для исправления проблемы типа «Г» необходимо программно распознавать характеристику записи в строке УП.

Тип «Д»: неясно, является ли дисциплина обязательной, факультативной или вводится по выбору. Для исправления проблемы типа «Д» необходимо программно определять вид дисциплины.

На рисунке 3 приведен пример индексов и названий, которые требовалось идентифицировать в качестве заголовков модулей или наименований дисциплин. Идентификация была проведена посредством анализа индексов. Жирным выделены названия модулей, определенных программно.

Опишем основные этапы алгоритма. Обозначим как n количество дисциплин УП, как k — количество реализуемых компетенций.

На первом этапе для каждой дисциплины, используя страницу УП «Компетенции», определялось множество указанных для нее кодов компетенций. В целях оптимизации использовалась структура данных `std::map` (словарь),

хранящая по ключу индексы дисциплин, а в качестве значений — множество кодов компетенций. Массив V (массив структур) представляет собой исходные данные, взятые со страницы «Компетенции». Алгоритм

+	Б1.О.01	Философия
+	Б1.О.02	История
+	Б1.О.02.01	История России
+	Б1.О.02.02	Всеобщая история
+	Б1.О.03	Иностранный язык
+	Б1.О.04	Безопасность жизнедеятельности
+	Б1.О.05	Физика
+	Б1.О.06	Информатика
+	Б1.В.ДВ.01	Дисциплины по выбору Б1.В.ДВ.1
+	Б1.В.ДВ.01.01	Трехмерное моделирование и анимация
-	Б1.В.ДВ.01.02	Интеллектуальные системы поддержки принятия решений
-	Б1.В.ДВ.01.03	Информационные системы логистики
-	Б1.В.ДВ.01.04	Основы веб-картографии

Рис. 3. Данные страницы «План», содержащие названия дисциплин и модуля

Fig. 3. The data of the “Plan” page containing names of disciplines and name of a module

представлен на рисунке 4. Здесь через I обозначен индекс дисциплины, C — код компетенции. Асимптотика данного алгоритма — $O(n \log n k)$.

На втором этапе производилось построение дерева вложенности дисциплин (рис. 5). Через M обозначен словарь дисциплин, Ptr — родительский узел дерева. Для построения дерева требовалось определить принадлежность каждой из дисциплин определенному модулю. Список модулей был взят со страницы УП «План», на которой названия модулей следовали непрерывно друг за другом.

Для идентификации дисциплин было использовано правило автоматизированного заполнения УП, согласно которому индекс родительского модуля

является префиксом индекса принадлежащей ему дисциплины.

При первом запуске алгоритма указатель равен фиктивному корневому узлу:

$Ptr := Root$ и $Root \rightarrow Parent := nullptr$.

В результате работы алгоритма должно сформироваться дерево вложенности, используя которое становится возможным учесть погрешности «Г» и «Д».

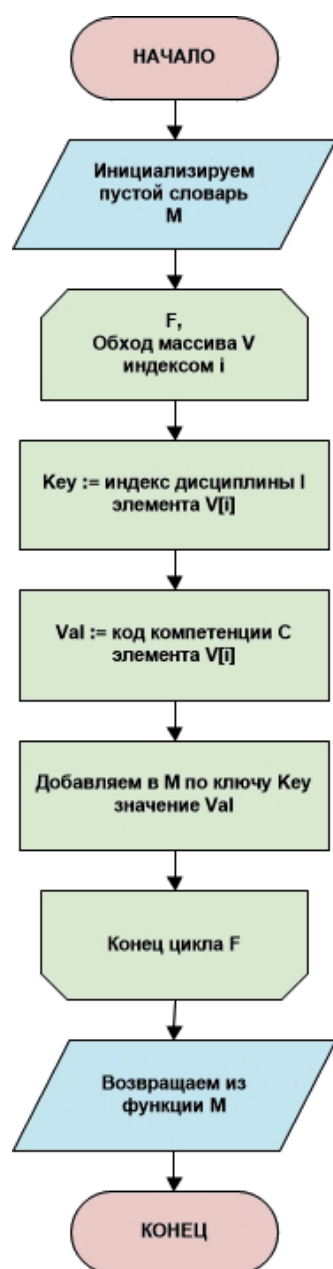


Рис. 4. Составление словаря
Fig. 4. Creating a dictionary

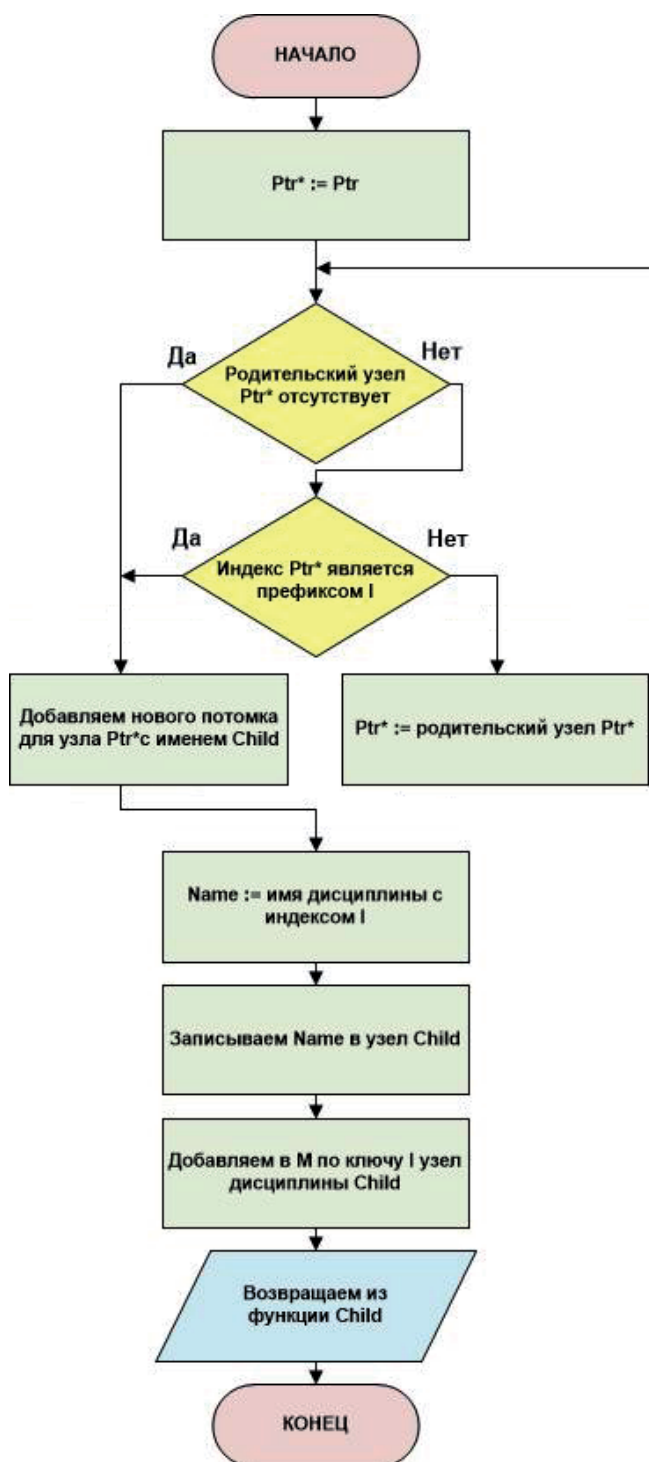


Рис. 5. Нахождение узла в дереве вложенности
Fig. 5. Finding a node in a nesting tree

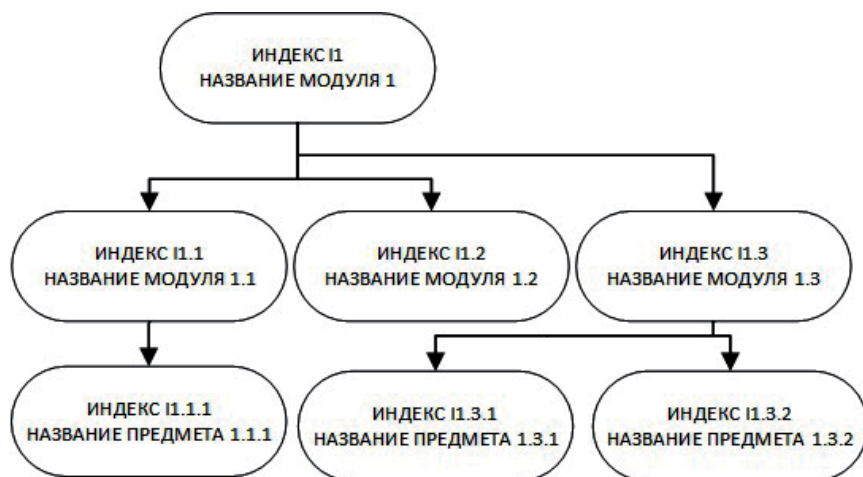


Рис. 6. Пример дерева вложенности дисциплин в модули

Fig. 6. An example of nesting tree of disciplines in modules

Пример дерева вложенности приведен на рисунке 6. Асимптотика алгоритма — $O(n \log n k)$.

Опишем методику вычисления трудоемкости компетенции и ее относительного веса. Пусть $V = \{v_i\}$ — множество всех дисциплин УП, а $K = \{k_j\}$ — множество компетенций, реализуемых в УП. Через K_{v_i} обозначим множество компетенций, в формировании которых участвует дисциплина v_i , а через $|K_{v_i}|$ — их количество. Через V_{k_j} обозначим множество дисциплин, участвующих в формировании компетенции k_j , а через $|v_i|$ — трудоемкость дисциплины v_i (количество зачетных единиц, приходящееся на нее в УП). Тогда трудоемкость компетенции $k_j \in K$ определим по формуле:

$$|k_j| = \sum_{v_i \in V_{k_j}} \frac{|v_i|}{|K_{v_i}|}, \quad (1)$$

а ее относительный вес как:

$$W(k_j) = \frac{|k_j|}{|V|}, \quad (2)$$

где $|V|$ — суммарная трудоемкость дисциплин УП (общая трудоемкость УП).

На следующем этапе вычислялись веса междисциплинарных связей. Для этого представим УП (дисциплины и междисциплинарные связи, образованные совокупностью одинаковых компетенций, заложенных в дисциплины) в виде взвешенного неориентированного графа, вершины которого соответствуют дисциплинам, а ребра — связям между ними. Будем считать, что связь между дисциплинами существует, если они участвуют в формировании по крайней мере одной общей компетенции. Вес вершины зависит от трудоемкости (количества ЗЕ), выделенной на соответствующую дисциплину. Если две дисциплины имеют общие реализуемые компетенции, то между соответствующими им вершинами есть ребро, вес которого отражает величину междисциплинарной связи. Подробное описание методики расчета и формулы для вычисления связи приведены в статье [18].

Для определения пересечений множеств компетенций дисциплин производился перебор всевозможных пар дисциплин. Зная мощность пересечения пар дисциплин и трудоемкость каждой дисциплины (в ЗЕ), стало возможным задать граф списком ребер (рис. 7). В данном алгоритме M — словарь дисциплин (I — индекс дисциплины (ключ)), C^* — множество компетенций (значений). Асимптотика данного алгоритма — $O(n^2 \cdot k \cdot \log k)$.

Для того чтобы графы разных УП были единообразны, была устранена погрешность «Б». Для этого была использована таблица псевдонимов, ставящая в соответствие различным вариантам наименования дисциплины единое. Данная таблица заполнялась до работы программы в специальном файле настройки.

Отметим, что для того, чтобы граф не обладал избыточной информацией, была устранена погрешность «В». Для этого в файле настройки программы были указаны названия тех дисциплин, которые не требовалось учитывать при построении графа.

Чтобы УП, отличающиеся суммой количества ЗЕ по всем дисциплинам, отображались единообразно, в качестве веса вершины будем использовать не трудоемкость соответствующей дисциплины в ЗЕ, а ее нормализованную величину:

$$W(v_i) = \frac{|v_i|}{W'}, \quad (3)$$

где $W' = |V|/n$ — среднее количество ЗЕ на дисциплину.

Для определения веса ребра между вершинами (дисциплинами v_i и v_j) воспользуемся формулой:

$$W(v_i v_j) = \frac{1}{2} (W(v_i) + W(v_j)) \cdot U_K, \quad (4)$$

где U_K — мощность пересечения множеств K_{v_i} и K_{v_j} компетенций дисциплин.

После генерации списка весов вершин и ребер графа, представляющего УП, для визуализации использовался программный пакет Gephi v0.9.7. Для

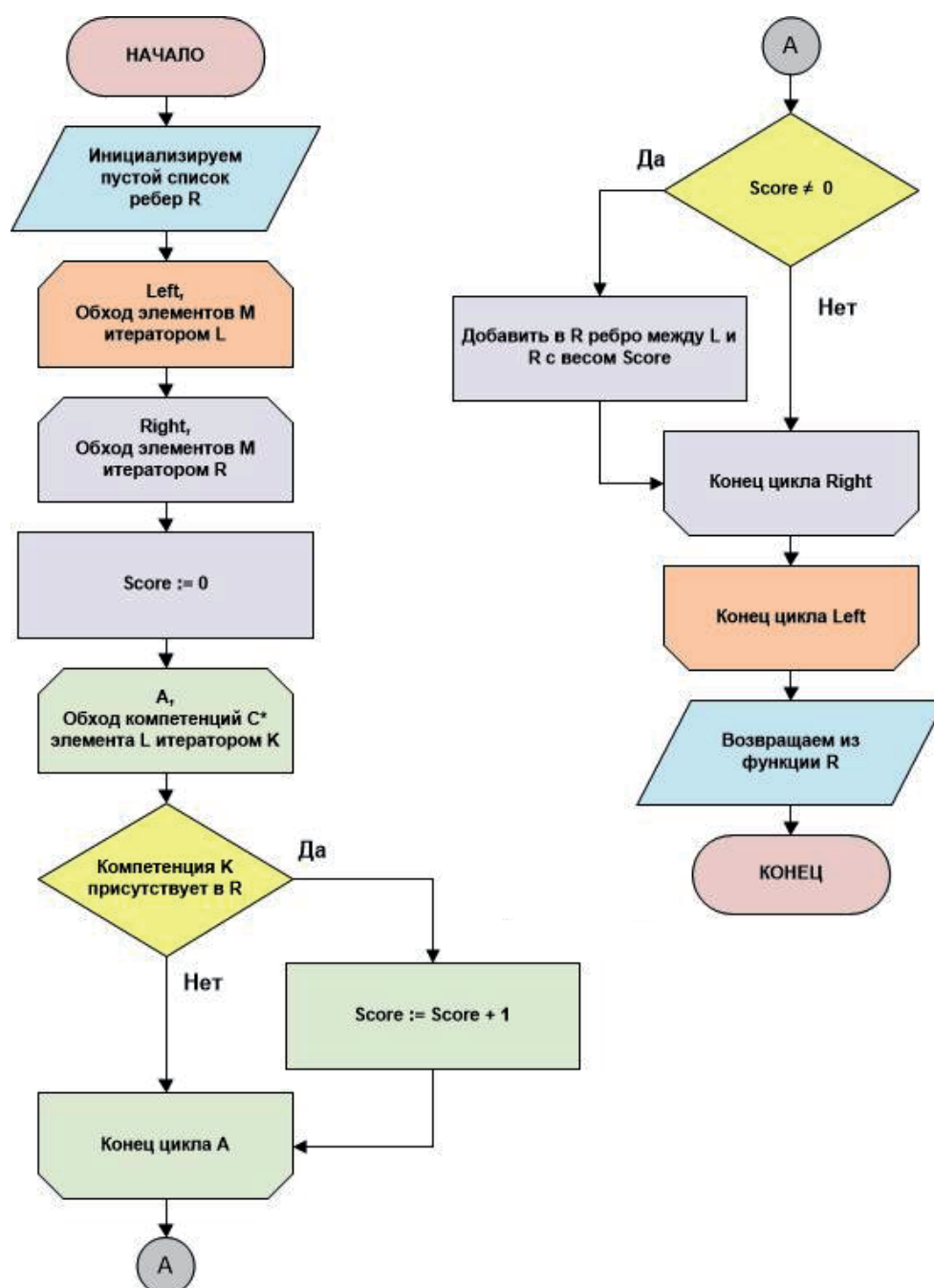


Рис. 7. Генерация списка ребер

Fig. 7. Edge list generation

более наглядного расположения вершин применялся алгоритм укладки графа Force Atlas (см., например, [19, 20]).

Программный алгоритм был реализован на языке C++ (компилятор MSVC)¹.

3.4. Примеры

Рассмотрим УП направлений подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

и 09.03.03 «Прикладная информатика», реализуемые в Институте космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. В таблицах 1 и 2 представлены результаты обработки УП алгоритмом с вычисленными трудоемкостями формирования общепрофессиональных компетенций (ОПК), универсальных компетенций (УК) и профессиональных компетенций (ПК).

Общее количество образовательных единиц, соответствующее УП, обозначим как D . Например, для УП направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» количество образовательных

¹ Полный код программы см.: <https://github.com/ekhalturin-ki15/SPA-SFU>

Таблица 1 / Table 1

**Трудоемкость компетенций УП по направлению
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»¹****The labor intensity of the competencies
of the curriculum in the direction****09.03.01 "Informatics and Computer Engineering"**

Группа	К	k	W, %	k	W, %
ОПК	ОПК-1	39,75	18,07		
	ОПК-8	13,75	6,25		
	ОПК-7	9	4,09		
	ОПК-3	5	2,27		
	ОПК-2	5	2,27		
	ОПК-4	3	1,36		
	ОПК-6	2	0,91		
	ОПК-5	2,5	1,14		
	ОПК-9	1	0,45	81	36,82
ПК	ПК-4	21,67	9,84		
	ПК-3	20,67	9,39		
	ПК-1	18,5	8,41		
	ПК-2	6,67	3,03	67,5	30,68
УК	УК-1	26,58	12,08		
	УК-4	15,5	7,05		
	УК-2	9,25	4,02		
	УК-5	7,33	3,33		
	УК-9	3	1,36		
	УК-8	3	1,36		
	УК-7	2	0,91		
	УК-10	2	0,91		
	УК-6	1,33	0,61		
	УК-3	1,5	0,68	71,5	32,5
V	220				
D'	52				

¹ Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 сентября 2017 года № 929 (ред. от 08.02.2021) «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования — бакалавриат по направлению подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»». https://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/090301_B_3_15062021.pdf

Таблица 2 / Table 2

**Трудоемкость компетенций УП по направлению
09.03.03 «Прикладная информатика»²****The labor intensity of the competencies
of the curriculum in the direction****09.03.03 "Applied Informatics"**

Группа	К	k	W, %	k	W, %
ОПК	ОПК-1	30	13,82		
	ОПК-2	18	8,29		
	ОПК-5	9,5	4,38		
	ОПК-4	6,67	3,07		
	ОПК-7	5	2,30		
	ОПК-3	5,5	2,53		
	ОПК-9	4	1,84		
	ОПК-8	4,66	2,15		
	ОПК-6	3,5	1,61	86,83	40,02
ПК	ПК-2	28,17	12,98		
	ПК-5	15,5	7,14		
	ПК-3	11,67	5,37		
	ПК-8	9,67	4,45		
	ПК-7	9,5	4,37		
	ПК-9	6,83	3,15		
	ПК-1	6	2,76		
	ПК-6	3,16	1,46		
	ПК-4	1,5	0,69	92	42,40
УК	УК-4	13,5	6,22		
	УК-5	5	2,30		
	УК-1	4,5	2,07		
	УК-8	3	1,38		
	УК-9	2	0,92		
	УК-7	2	0,92		
	УК-3	2,83	1,31		
	УК-2	2,83	1,31		
	УК-6	1	0,46		
	УК-10	1,5	0,69	38,17	17,59
V	217				
D'	46				

² Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 сентября 2017 года № 922 (ред. от 08.02.2021) «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования — бакалавриат по направлению подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика»». https://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/090303_B_3_23062021.pdf

единиц $D = 55$. На них приходится 244 ЗЕ вместе с факультативными дисциплинами (4 ЗЕ). Для анализа трудоемкости компетенций не учитываются в числе дисциплин технологическая и преддипломная практики (15 ЗЕ), ГИА (9 ЗЕ). Обозначим через D' количество образовательных единиц УП с принятыми допущениями. Таким образом, в рассмотрении остается 52 образовательные единицы ($D' = 52$) с общей трудоемкостью 220 ЗЕ. В качестве примера рассмотрим дисциплины «Иностранный язык» (УК-4, 9 ЗЕ), «Теория и практика эффективного речевого общения» (УК-4, УК-5, 3 ЗЕ), «Профессионально-ориентированный иностранный язык» (УК-4, 3 ЗЕ), «Основы академического письма» (УК-4, 2 ЗЕ). Формирование компетенции УК-4 «Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)» распределено между этими четырьмя дисциплинами. Учитывая, что трудоемкость освоения дисциплины распределяется поровну между всеми компетенциями, формируемыми в результате ее изучения, на основе формулы (1) получаем, что трудоемкость компетенции УК-4 будет равна:

$$k(\text{УК} - 4) = 9 + \frac{3}{2} + 3 + 2 = 15,5 \text{ ЗЕ}.$$

Относительный вес компетенции УК-4 вычислим по формуле (2):

$$W(\text{УК} - 4) = \frac{15,5}{220} = 0,0705 \text{ ЗЕ}.$$

Предложенный в работе алгоритм позволяет вывести общую сравнительную таблицу по нескольким УП. Например, в таблице 3 представлены данные по двум рассматриваемым УП. Отметим, что, обработав большое количество УП по разным направлениям

и уровням подготовки (бакалавриат, специалитет), можно получить наглядную картину распределения трудоемкостей по блокам компетенций, а также увидеть минимальные и максимальные показатели $|V|$, D (коридоры).

Программный комплекс позволяет вывести данные сформированности компетенций за определенные периоды. Например, в таблице 4 приведены данные по УП направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» за первый год обучения, а на рисунке 8 приведена графовая визуализация междисциплинарных связей УП данного направления за тот же период.

Таблица 4 / Table 4

Трудоемкость компетенций УП направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» за первый год обучения

The labor intensity of the competencies of the curriculum in the direction 09.03.01 "Informatics and Computer Engineering" for the first year of studies

Группа	К	$ k $	W, %	$ k $	W, %
ОПК	ОПК-1	25	41,3		
	ОПК-8	13	21,5		
	ОПК-7	4	6,6		
	ОПК-9	1	1,7		
	ОПК-2	1	1,7	44	72,7
УК	УК-4	6	9,9		
	УК-5	4	6,6		
	УК-2	4	6,6		
	УК-7	1	1,7		
	УК-3	1,5	2,5	16,5	27,3

Таблица 3 / Table 3

Сравнительная статистика по УП направлений 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 09.03.03 «Прикладная информатика»

Comparative statistics of the curricula in the direction 09.03.01 "Informatics and Computer Engineering" and the direction 09.03.03 "Applied Informatics"

УП	ОПК	ПК	УК	$ V $	D'	D
0903010030_21	36,81	30,68	32,50	244	52	55
0903030031_21	40,02	42,40	17,59	244	46	50
Коридор ЗЕ		244–244				
Коридор дисциплин		50–55				
Коридор по компетенциям						
ОПК	36–40					
ПК	30–42					
УК	17–32					

Приведем пример формирования данных для построения графового представления. Рассчитаем веса двух вершин графа и ребра между ними. Рассмотрим две дисциплины плана: «Физика» (ОПК-1, 8 ЗЕ), «Информатика» (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-8, ОПК-9, 4 ЗЕ). Обозначим физику через v_1 , а информатику через v_2 . По формуле (3) получим:

$$W(v_1) = \frac{8}{4,23} = 1,891 \text{ ЗЕ},$$

$$W(v_2) = \frac{4}{4,23} = 0,946 \text{ ЗЕ},$$

принимая во внимание, что $W' = 220/52$. Тогда по формуле (4) вес междисциплинарной связи между этими дисциплинами будет составлять:

$$W(v_1 v_2) = \frac{1}{2}(1,891 + 0,946) = 1,419 \text{ ЗЕ}.$$

Алгоритм позволяет получить визуальное представление в виде графа и для всего УП. Визуализация



Рис. 8. Граф УП направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» для первого года обучения

Fig. 8. The graph of the curriculum for the direction 09.03.01 "Informatics and Computer Engineering" for the first year of studies

данных УП различными методами позволяет понять структуру УП, оценить сформированность компетенций на различных этапах обучения, выделить их кластеры.

4. Обсуждение

Разработанный программный алгоритм для анализа УП позволяет проводить декомпозицию плана относительно заложенных компетенций и их индикаторов, отслеживать сформированность образовательных результатов на различных курсах обучения студентов по выбранной ОП, способствует более детальному сравнению разных УП. Визуальная графовая модель показывает междисциплинарные связи, заложенные в УП и отражающие участие дисциплин УП в формировании одинаковых компетенций. Данные результаты являются критериями, которые помогают лучше понять структуру УП.

Разработанное программное решение может быть масштабировано для использования в различных образовательных организациях, поскольку ИС «Планы» является на сегодняшний день одним из самых распространенных программных комплексов для проектирования, хранения компонентов ОП и работы с ними.

Как уже было отмечено, существует много дополнительных факторов, влияющих на качество ОП, поэтому оценка их качества должна быть не самоцелью для динамически развивающихся образовательных организаций, а инструментом для оптимизации образовательного процесса и управления его качеством в масштабах вуза (в качестве примера см., например, [21]). Поэтому задача создания автоматизированной экспертной системы управления образовательным процессом остается актуальной.

5. Выводы

Программная реализация предложенного в работе алгоритма позволяет провести анализ УП, выявить его характеристики, которые помогают судить о качестве реализуемой ОП, сильных и слабых сторонах ее педагогического дизайна. Рассмотренный алгоритм делает возможным сравнительный анализ различных ОП с целью выяснения удачных решений с точки зрения дизайна для повышения качества проектирования новых ОП или модернизации существующих. Кроме того, наличие наглядно представленных междисциплинарных связей дает возможность проводить анализ УП на уровне рабочих программ дисциплин и более тонко понимать суть знаниевой преемственности с точки зрения формирования образовательных результатов.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ, проект № 22-28-00413.

Funding

The work was financially supported by the RSF grant, project No 22-28-00413.

Список источников / References

1. Левицкий М. Л., Гриншкун В. В., Заславская О. Ю. Тенденции и особенности современного этапа информатизации высшей школы. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования*. 2022;19(4):285–299. EDN: WYGLCZ. DOI: 10.22363/2312-8631-2022-19-4-285-299.
[Levitsky M. L., Grinshkun V. V., Zaslavskaya O. Yu. Trends and features of the informatization of higher education modern stage. *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2022;19(4):285–299. (In Russian.) EDN: WYGLCZ. DOI: 10.22363/2312-8631-2022-19-4-285-299.]
2. Каракозов С. Д., Уваров А. Ю. Успешная информатизация = трансформация учебного процесса в цифровой

образовательной среде. *Проблемы современного образования*. 2016;(2):7–19. EDN: VVEYBN.

[Karakozov S. D., Uvarov A. Yu. Successful informatization = transformation of the educational process in the digital educational environment. *Problems of Modern Education*. 2016;(2):7–19. (In Russian.) EDN: VVEYBN.]

3. Уваров А. Ю., Гейбл Э., Дворецкая И. В., Заславский И. М., Карлов И. А., Мерцалова Т. А., Сергоманов П. А., Фрумин И. Д. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования. Под ред. А. Ю. Уварова, И. Д. Фрумина. М.: Издательский дом Высшей школы экономики; 2019. 344 с. EDN: ANYGHO. DOI: 10.17323/978-5-7598-1990-5.

[Uvarov A. Yu., Gable E., Dvoretzskaya I. V., Zaslavsky I. M., Karlov I. A., Mertsalova T. A., Sergomanov P. A., Frumin I. D. Difficulties and prospects of the digital transformation of education. Ed. by A. Yu. Uvarov, I. D. Frumin. Moscow, PH HSE; 2019. 344 p. (In Russian.) EDN: ANYGHO. DOI: 10.17323/978-5-7598-1990-5.]

4. Кочеткова Т. О., Карнаухова О. А., Майер В. Р. Адаптивный модуль как эффективное средство обучения математике первокурсников с разным уровнем школьной математической подготовки. *Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В. П. Астафьева*. 2019;49(3):71–82. EDN: RLKUQO. DOI: 10.25146/1995-0861-2019-49-3-144.

[Kochetkova T. O., Karnaukhova O. A., Mayer V. R. Adaptive module as an effective means of teaching mathematics to first-year students with different level of secondary school mathematics skills. *Bulletin of Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafyev*. 2019;49(3):71–82. (In Russian.) EDN: RLKUQO. DOI: 10.25146/1995-0861-2019-49-3-144.]

5. Кречетов И. А., Романенко В. В. Реализация методов адаптивного обучения. *Вопросы образования*. 2020;(2):252–277. EDN: KYNIIH. DOI: 10.17323/1814-9545-2020-2-252-277.

[Krechetov I. A., Romanenko V. V. Implementing the adaptive learning techniques. *Educational Studies*. Moscow. 2020;(2):252–277. (In Russian.) EDN: KYNIIH. DOI: 10.17323/1814-9545-2020-2-252-277.]

6. Бурняшов Б. А. Программное обеспечение электронного портфолио студентов российской высшей школы. *Открытое образование*. 2021;25(6):24–35. EDN: IBJVNO. DOI: 10.21686/1818-4243-2021-6-24-35.

[Burnyashov B. A. Software for electronic portfolio of students of the Russian higher education. *Open Education*. 2021;25(6):24–35. (In Russian.) EDN: IBJVNO. DOI: 10.21686/1818-4243-2021-6-24-35.]

7. Вайнштейн Ю. В., Шершнева В. А. Адаптивное электронное обучение в современном образовании. *Педагогика*. 2020;(5):48–57. EDN: CIQLCR.

[Vainshtein Yu. V., Shershneva V. A. Adaptive e-learning in modern education. *Pedagogika*. 2020;(5):48–57. (In Russian.) EDN: CIQLCR.]

8. Есин Р. В., Зыкова Т. В., Кустицкая Т. А., Кйтманов А. А. Цифровая образовательная история как составляющая цифрового профиля обучающегося в условиях трансформации образования. *Перспективы науки и образования*. 2022;(5(59)):566–584. EDN: OMTHCN. DOI: 10.32744/pse.2022.5.34.

[Esin R. V., Zykova T. V., Kustitskaya T. A., Kytmanov A. A. Digital educational history as a component of the digital student's profile in the context of education transformation. *Perspectives of Science and Education*. 2022;(5(59)):566–584. (In Russian.) EDN: OMTHCN. DOI: 10.32744/pse.2022.5.34.]

9. Быстрова Т. Ю., Ларионова В. А., Ситицын Е. В., Толмачев А. В. Учебная аналитика MOOC как инструмент прогнозирования успешности обучающихся. *Вопросы образования*. 2018;(4):139–166. EDN: MIBVWP. DOI: 10.17323/1814-9545-2018-4-139-166.

[Byстрова T. Yu., Larionova V. A., Sinitsyn E. V., Tolmachev A. V. Learning analytics in MOOC as a tool for predicting learner performance. *Educational Studies*. Moscow. 2018;(4):139–166. (In Russian.) EDN: MIBVWP. DOI: 10.17323/1814-9545-2018-4-139-166.]

10. Macfadyen L. P., Dawson S. Mining LMS data to develop an “early warning system” for educators: A proof of concept. *Computers & Education*. 2010;54(2):588–599. DOI: 10.1016/j.compedu.2009.09.008.

11. Lee S., Chung J. Y. The machine learning-based dropout early warning system for improving the performance of dropout prediction. *Applied Sciences*. 2019;9(15):3093. DOI: 10.3390/app9153093.

12. Чикова О. А., Давыдова Н. Н., Симонова А. А. Независимая оценка качества условий осуществления образовательной деятельности региона: статистический анализ результатов. *Перспективы науки и образования*. 2021;(6(54)):606–620. EDN: EVOOHN. DOI: 10.32744/pse.2021.6.40.

[Chikova O. A., Davydova N. N., Simonova A. A. Independent assessment of the quality of conditions for implementing educational activities in the region: Statistical analysis of the results. *Perspectives of Science and Education*. 2021;(6(54)):606–620. (In Russian.) EDN: EVOOHN. DOI: 10.32744/pse.2021.6.40.]

13. Крокинская О. К., Трапицын С. Ю. Студент как «потребитель образования»: содержание категорий. *Высшее образование в России*. 2015;(6):65–75. EDN: UDQZXR.

[Krokinskaya O. K., Trapitsin S. Yu. Student as “an education consumer”: Content of the concept. *Higher Education in Russia*. 2015;(6):65–75. (In Russian.) EDN: UDQZXR.]

14. Сердитова Н. Е., Белоцерковский А. В. Образование, качество и цифровая трансформация. *Высшее образование в России*. 2020;29(4):9–15. EDN: HSHYKN. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-4-9-15.

[Serditova N. E., Belotserkovsky A. V. Education, quality and the digital transformation. *Higher Education in Russia*. 2020;29(4):9–15. (In Russian.) EDN: HSHYKN. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-4-9-15.]

15. Кельчевская Н. Р., Ширинкина Е. В. Интеграция образовательных и профессиональных стандартов в условиях реформирования: проблемы и пути решения. *Университетское управление: практика и анализ*. 2018;22(1):16–25. EDN: XODKLZ. DOI: 10.15826/umpa.2018.01.002.

[Kelchevskaya N. R., Shirinkina E. V. Integration of educational and professional standards under conditions of reform: Problems and ways of solutions. *Journal University Management: Practice and Analysis*. 2018;22(1):16–25. (In Russian.) EDN: XODKLZ. DOI: 10.15826/umpa.2018.01.002.]

16. Пилипенко С. А., Жидков А. А., Караваева Е. В., Серова А. В. Сопряжение ФГОС и профессиональных стандартов: выявленные проблемы, возможные подходы, рекомендации по актуализации. *Высшее образование в России*. 2016;(6):5–15. EDN: WBKJIT.

[Pilipenko S. A., Zhidkov A. A., Karavaeva E. V., Serova A. V. On the correlation between Federal educational standards of higher education and professional standards: Problems, possible approaches, recommendation on actualization. *Higher Education in Russia*. 2016;(6):5–15. (In Russian.) EDN: WBKJIT.]

17. Delors J. Learning: the treasure within. Report to UNESCO of the International commission on education for the twenty-first century (highlights). UNESCO publishing; 1996. 46 p. Available at: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000109590>.

18. Зыкова Т. В., Кйтманов 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. EDN: KZHOWJ. DOI: 10.25559/SITITO.019.202301.104-116.

[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. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2023;19(1):104–116. (In Russian.) EDN: KZH0WJ. DOI: 10.25559/SITITO.019.202301.104-116.]

19. Bonato A., Hadi N., Horn P., Pralat P., Wang C. Models of online social networks. *Internet Mathematics*. 2009;6(3):285–313. DOI: 10.1080/15427951.2009.10390642.

20. Jacomy M., Venturini T., Heymann S., Bastian M. ForceAtlas2, a continuous graph layout algorithm for handy network visualization designed for the Gephi software. *PLoS ONE*. 2014;9(6):e98679. DOI: 10.1371/journal.pone.0098679.

21. Тишкина К. О., Елисеева О. В., Багаутдинова А. Ш., Шилова К. С., Ефремова А. А. Подход к управлению качеством образовательных программ на основе данных. *Университетское управление: практика и анализ*. 2022;26(3):112–119. EDN: OZNLFD. DOI: 10.15826/umpa.2022.03.025.

[Tishkina K. O., Eliseeva O. V., Bagautdinova A. Sh., Shilova K. S., Efremova A. A. Data-based approach to educational programs quality management. *Journal University Management: Practice and Analysis*. 2022;26(3):112–119. (In Russian.) EDN: OZNLFD. DOI: 10.15826/umpa.2022.03.025.

Информация об авторах

Зыкова Татьяна Викторовна, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и анализа данных, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-7332-2372>; *e-mail*: zykovaty@mail.ru

Кытманов Алексей Александрович, доктор физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики и анализа данных, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия; зав. кафедрой высшей математики, Институт перспективных технологий и индустриального программирования, МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-3325-099X>; *e-mail*: aakytm@gmail.com

Халтурин Евгений Александрович, аспирант кафедры информационных систем, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-9292-0370>; *e-mail*: ekhalturin@sfu-kras.ru

Вайнштейн Юлия Владимировна, доктор пед. наук, доцент, профессор кафедры прикладной математики и анализа данных, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-8370-7970>; *e-mail*: yweinstein@sfu-kras.ru

Носков Михаил Валерианович, доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры прикладной математики и анализа данных, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-8966-3633>; *e-mail*: mvnoskov@yandex.ru

Information about the authors

Tatyana V. Zykova, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Docent, Associate Professor at the Department of Applied Mathematics and Data Analysis, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-7332-2372>; *e-mail*: zykovaty@mail.ru

Alexey A. Kytmanov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Docent, Professor at the Department of Applied Mathematics and Data Analysis, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; Head of the Department of Higher Mathematics, Institute for Advanced Technologies and Industrial Programming, MIREA — Russian Technological University, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-3325-099X>; *e-mail*: aakytm@gmail.com

Evgeniy A. Khalturin, a postgraduate student at the Department of Information Systems, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-9292-0370>; *e-mail*: ekhalturin@sfu-kras.ru

Yuliya V. Vaynshteyn, Doctor of Sciences (Education), Docent, Professor at the Department of Applied Mathematics and Data Analysis, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-8370-7970>; *e-mail*: yweinstein@sfu-kras.ru

Mikhail V. Noskov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Professor at the Department of Applied Mathematics and Data Analysis, School of Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-8966-3633>; *e-mail*: mvnoskov@yandex.ru

Поступила в редакцию / Received: 03.08.23.

Поступила после рецензирования / Revised: 14.09.23.

Принята к печати / Accepted: 19.09.23.