

Аналитическая статья

УДК 004.9; 004.75; DOI: 10.61260/2218-130X-2026-2-137-145

АНАЛИЗ СРЕДСТВ И ПОДХОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Саратова Татьяна Евгеньевна;

✉Воронцова Евгения Константиновна.

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

✉vorontsova@mirea.ru

Аннотация. Представлен обзорный сравнительный анализ средств и подходов построения взаимосвязей между компонентами образовательных программ. При проведении исследования использованы методы системного анализа и аналитического обзора, сравнительного анализа, а также обобщения выявленных ограничений. Проанализированы существующие подходы к построению связей между компонентами образовательных программ, такие как онтологические, графовые, семантические и основанные на методах обработки естественного языка. Онтологические модели формализуют структуру образовательной программы, графовые модели выявляют междисциплинарные связи, а семантические и методы обработки естественного языка позволяют автоматизировать сопоставление результатов обучения студентов, тем дисциплин и учебных материалов. Исследуемые подходы имеют ряд ограничений: зависимость от ручной разметки, слабый учет фактического содержания рабочих программ дисциплин, ограниченность анализа в рамках отдельного курса. Сформированы выводы о необходимости формирования комплексного подхода и заложена основа для проведения дальнейших исследований в области построения взаимосвязей между компонентами образовательных программ.

Ключевые слова: образовательные программы, рабочая программа дисциплины, графовая модель, результаты обучения, семантический анализ, онтология, результаты обучения, учебный план

Для цитирования: Саратова Т.Е., Воронцова Е.К. Анализ средств и подходов идентификации связей между компонентами образовательных программ // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2026. № 2. С. 137–145. DOI: 10.61260/2218-130X-2026-2-137-145

Analytical article

ANALYSIS OF MEANS AND APPROACHES FOR IDENTIFYING RELATIONS BETWEEN COMPONENTS OF EDUCATIONAL PROGRAMS

Saratova Tatiana E.;

✉Vorontsova Evgenia K.

MIREA – Russian technological university, Moscow, Russia

✉vorontsova@mirea.ru

Abstract. The article presents an overview comparative analysis of the means and approaches to building relationships between the components of educational programs. The study used the methods of system analysis and analytical review, comparative analysis, as well as generalization of the identified limitations. The existing approaches to building relationships between the components of educational programs, such as ontological, graph, semantic, and based on natural language processing methods, are analyzed. Ontological models formalize the structure of an educational program, graph models identify interdisciplinary connections, and semantic and based on natural language processing models allow for the automation of matching student learning outcomes, discipline topics, and educational materials.

However, these approaches have several limitations, such as dependence on manual markup, limited consideration of the actual content of discipline curricula, and limited analysis within a single course. The study concludes that a comprehensive approach is necessary and provides a foundation for further research on building relationships between the components of educational programs.

Keywords: educational programs, work program of the discipline, graph model, learning outcomes, semantic analysis, ontology, learning outcomes, curriculum

For citation: Saratova T.E., Vorontsova E.K. Analysis of means and approaches for identifying relations between components of educational programs // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2026. № 2. P. 137–145. DOI: 10.61260/2218-130X-2026-2-137-145

Введение

Современный образовательный процесс в высших учебных заведениях регламентируется большим количеством документов, влекущих за собой формирование большого объема взаимосвязанных данных. Одним из основных документов является образовательная программа (ОП) – комплекс основных характеристик образования и организационно-педагогических условий. В состав ОП высшего учебного заведения включают: учебный план, рабочие программы дисциплин (РПД), в которых представляются темы и их описания, фонды оценочных средств, компетенции и индикаторы, дескрипторы обучения, методические материалы и иные компоненты. При формировании и актуализации ОП необходимо учитывать их связи между собой.

Актуальность задачи усиливается переходом высшего образования к компетентностной модели. В данной модели качество ОП определяется не только перечнем дисциплин, а также последовательностью и содержательностью формируемых заявленных результатов обучения. На практике чаще всего связи между дисциплинами, результатами обучения и компетенциями задаются формально. В документах указывается, что дисциплина формирует определенные компетенции, однако не всегда проверяется, действительно ли темы, задания и оценочные средства раскрывают заявленный результат. Отсюда могут возникать содержательные пробелы, дублирование одних и тех же тем на разных дисциплинах, нарушение логики последовательности дисциплин, слабая связь между РПД и компетенциями, а также методическими материалами.

В ходе исследования было выявлено несколько направлений решения данной проблемы: онтологическое представление, графовый анализ, онтологии компетенций и образовательных траекторий, а также автоматизация сопоставления учебных планов и применение NLP/LLM-методов. В статье [1] предлагается формализованная онтологическая модель ОП, в которой выделяют такие элементы, как ФГОС (федеральный государственный стандарт), направление подготовки, учебный план, дисциплины, модули, практики, компетенции и формы обучения. Подход, представленный в данной работе, важен тем, что переводит ОП из набора различных документов в целостную систему взаимосвязанных элементов. Однако в работе в основном описывается структура ОП и не учитывается анализ фактического содержания внутри нее. Близкий подход представляется в работе [2]. ОП рассматривается как семантическая модель, которая включает дисциплины, темы, занятия, компетенции и формы аттестации. Авторы предлагают программное обеспечение для построения, визуализации и анализа модели, а также сравнение РПД. В данной работе есть переход от уровня учебного плана к уровню РПД и тематического содержания. Однако следует отметить, что смысловое сопоставление имеет ограничения, поскольку оно основано на структурированном описании и совпадении текстовых элементов, а не на контекстном и семантическом сходстве.

Авторы статьи [3] используют методы графового анализа, чтобы представить учебный план в виде взвешенного неориентированного графа. Вершинами в графе являются дисциплины, а ребра отражают междисциплинарные связи, которые основаны на общих компетенциях

и трудоемкости. Такой подход позволяет визуализировать структуру учебного плана, выявить ключевые дисциплины, определять группы взаимосвязанных дисциплин и обобщать характеристики ОП. Формальные связи между дисциплинами могут стать недостатком данного подхода, поскольку они определяются через общие компетенции и не анализируют само наполнение дисциплин, результатов обучения, а также РПД.

В статье [4] проведено исследование онтологий компетенций и образовательные траектории, где предлагается строить адаптивную модель компетенций в области информационных технологий. Построение данной модели основывается на связи специализированной онтологии компетенций с профессиональными образовательными стандартами, общими онтологиями и базами знаний. Данный подход важен для согласования образовательных и профессиональных требований, но нуждается в детализации на уровне конкретной ОП, ее дисциплин и учебных материалов.

В области автоматизированного сопоставления учебных планов и применения NLP/LLM-методов решается задача автоматического сопоставления итогов обучения по дисциплинам с результатами ОП на основе предобработки текста, векторизации и косинусной близости [5]. В работе [6] рассматривается автоматизация сопоставления учебных планов с использованием LLM, семантического сходства, классификации и графовых методов для выявления пробелов и кластеров дисциплин. Авторы исследования [7] сравнивают лексические, embedding и LLM методы сопоставления ресурсов Moodle с темами курса и показывают, что качество сопоставления существенно зависит от полноты и информативности текстового описания.

В зарубежных исследованиях активно развиваются подходы, которые объединяют онтологии, графы знаний и методы обработки естественного языка. Предлагается онтологическая модель компетентностно-ориентированной ОП, в которой компетенции представлены в виде иерархического дерева, а зависимости между курсами и компетенциями используются для проверки прerreквизитов [8]. Также описывается автоматизированное построение онтологии учебного плана на основе реальных документов образовательной программы, выделяя следующие уровни «курсы – результаты обучения – знания» [9]. Авторы статьи [10] предлагают CourseKG – образовательный граф знаний, строящийся на основе информации о курсе с использованием BERT-моделей для извлечения сущностей и отношений. А в обзорной работе [11] показывают рост числа исследований, связанных с графами знаний в образовании, и выделяют их применение в персонализированном обучении, рекомендациях, управлении курсами и моделировании учебного содержания.

Таким образом, существующие исследования подтверждают перспективность онтологического, графового и семантического подходов в анализе ОП. Однако большинство работ либо формализуют структуру программы без глубокого анализа содержания, либо анализируют отдельный курс, либо строят графы на основе уже заданных формальных связей. Отсюда следует, что данные подходы недостаточно проработаны и нужен комплексный подход, который одновременно учитывает структуру ОП, фактическое содержание РПД, семантическое сходство текстов и т.д.

Таким образом, цель исследования заключается в анализе существующих средств и подходов к построению взаимосвязей между компонентами ОП и обосновании семантико-графового подхода, который позволяет объединить формальные, структурные и содержательные связи между элементами ОП.

Методы исследования

В качестве объекта исследования рассматривается ОП высшего учебного заведения как комплекс взаимосвязанных компонентов.

Предметом исследования являются методы построения и анализа взаимосвязей между указанными компонентами. В работе использованы методы системного анализа и аналитического обзора отечественных и зарубежных источников, сравнительного анализа подходов поиска взаимосвязей между компонентами ОП, а также обобщения выявленных ограничений.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа отечественных и зарубежных публикаций выявлено, что построение взаимосвязей между компонентами ОП решается в рамках нескольких устойчивых научных направлений. В рамках настоящего исследования выделены пять основных направлений: онтологическое моделирование, графовые модели и сетевой анализ, методы картирования программы (curriculum mapping), методы обработки естественного языка (NLP и LLM), а также графы знаний. Каждое из представленных направлений решает часть одной общей задачи: одни подходы формализуют структуру ОП, другие выявляют связи между дисциплинами, третьи автоматизируют сопоставление результатов обучения, тем внутри дисциплин и учебных материалов. Однако ни одно из направлений в отдельности не обеспечивает полного анализа взаимосвязей между компонентами ОП.

Онтологическое направление фокусируется на формализации ОП в виде набора различных сущностей и взаимосвязей между ними. В работах данного направления ОП рассматривается как иерархическая система, которая включает в себя различные компоненты [12, 13]. Подходы с использованием онтологий отличаются высоким уровнем формального описания ОП и позволяют представить ее как единую структурированную систему. Ограничением для них будет недостаточный учет реального содержания образовательных документов, поскольку связи фиксируются заранее и зависят от описания предметной области экспертом.

Графовый подход предполагает рассмотрение ОП в виде системы взаимосвязанных элементов, где ее компоненты будут представлены как вершины, а ребра – как связи между ними. Методы теории графов являются основой для исследований в рамках данного подхода, которые позволяют анализировать структуру ОП [14–17]. Такое представление позволяет не только визуализировать ОП, а также рассчитывать количественные метрики в виде степени связанности элементов, плотности сети и др. Это позволяет проводить более формализованную оценку ОП. Стоит отметить, что данный подход, часто опирается на формально заданные связи и не учитывает семантическое содержание. В результате граф отражает структуру ОП, но не ее содержательную согласованность.

Методы картирования программы позволяют установить соответствия между различными уровнями ОП, особенно между результатами обучения отдельных дисциплин и результатами ОП в целом. Традиционно данный подход реализуется в виде матриц соответствия, формируемых экспертным путем. Ключевой особенностью данного направления является ориентация на фактические данные, извлекаемые из текстов образовательных документов. В отличие от онтологических подходов, где связи между компонентами задаются заранее, в нем связи выявляются на основе анализа текстовых формулировок. Этот подход также имеет свои ограничения, он фокусируется на уровне анализа и недостаточно учитывает структурный контекст ОП [5, 6, 13, 18].

Методы обработки естественного языка направлены на поиск смысловых связей между текстами в рамках ОП. В этом направлении применяются как классические методы (TF-IDF, cosine similarity), так и современные нейросетевые модели (BERT, Sentence-BERT, LLM) [5, 19–22]. Данное направление отличается высокой чувствительностью к смысловому содержанию, но не учитывает структуру ОП и не позволяет интерпретировать тип выявленных связей. Например, высокая семантическая близость позволяет различить дублирование, развитие темы или пререквизитную зависимость.

Графы знаний представляют собой усовершенствованные графовые модели с добавлением дополнительного семантического уровня. Гибридные модели, сочетающие в себе оба подхода (графовые и семантические), представляют собой наиболее перспективное направление, поскольку позволяют учитывать как структуру, так и содержание ОП. Тем не менее, на сегодняшний день такие модели недостаточно ориентированы на комплексный анализ ОП как целостных систем [4, 10, 11, 23, 24].

Выявленные группы подходов к построению взаимосвязей между компонентами ОП представлены в таблице.

Таблица

Группы подходов к построению взаимосвязей между компонентами ОП

Группа подходов	Основная идея	Типовые объекты	Сильные стороны	Ограничения
Онтологическое моделирование	Формальное описание сущностей и отношений	ОП, дисциплины, компетенции, ФГОС, результаты обучения	Строгая структура, машинная интерпретируемость, возможность логического вывода	Требуют экспертного проектирования, часто слабо учитывают фактический текст РПД
Графовые модели и сетевой анализ	Представление программы как сети связанных элементов	Дисциплины, компетенции, темы, понятия	Наглядность, расчет метрик, выявление кластеров	Часто строятся по формальным связям без семантического анализа
Картирование программы (curriculum mapping)	Сопоставление результатов обучения, компетенций, тем и оценивания	Результаты обучения по дисциплине и по ОП	Полезно для аккредитации и контроля качества	Трудоемкость ручного заполнения, риск формального соответствия
Методы обработки естественного языка (NLP и LLM)	Автоматическое сопоставление текстовых формулировок. Использование языковых моделей для интерпретации и классификации	Результаты обучения, темы, материалы, компетенции. Тексты РПД, темы, задания, результаты обучения	Масштабируемость, снижение ручного труда. Учет контекста, возможность объяснения связей	Зависимость от качества текста, проблемы с синонимией и короткими описаниями. Проблемы воспроизводимости, необходимость валидации экспертами
Графы знаний и гибридные модели	Объединение семантики, структуры и отношений	Учебные понятия, ресурсы, пререквизиты, траектории	Поддержка рекомендаций, траекторий и поиска	Часто ограничены отдельным курсом или предметной областью

Следовательно, ключевым результатом проведенного анализа является вывод о необходимости перехода от бинарного сопоставления «связано – не связано» к типизированному описанию отношений между компонентами программы. Одинаковое или близкое значение семантической меры может соответствовать разным отношениям: дублированию, логичному развитию темы, частичному пересечению, пререквизитной зависимости или формальному совпадению без содержательного подтверждения. Поэтому для интерпретации связи необходимо учитывать не только текстовую близость, но и тип сравниваемых элементов, их положение в учебном плане, семестр изучения, общие компетенции, индикаторы, результаты обучения и оценочные средства.

Предлагаемый семантико-графовый подход может включать следующие уровни: нормативно-структурный, содержательный, семантический, а также графовый. На нормативно-структурном уровне фиксируются формальные данные учебного плана: перечень дисциплин, семестры, трудоемкость, формы контроля, компетенции и индикаторы. Содержательный уровень предполагает извлечение из РПД разделов, тем, результатов обучения, различных понятий, видов занятий, заданий и критериев оценивания. На семантическом уровне текстовые элементы преобразуются в векторные представления, что позволяет рассчитать смысловую близость между темами, результатами обучения, индикаторами и оценочными средствами. На графовом уровне все компоненты объединяются в единую модель (неоднородный граф), что дает возможность анализировать как прямые, так и скрытые связи между ними.

Пример возможных связей семантико-графового подхода представлен на рисунке.

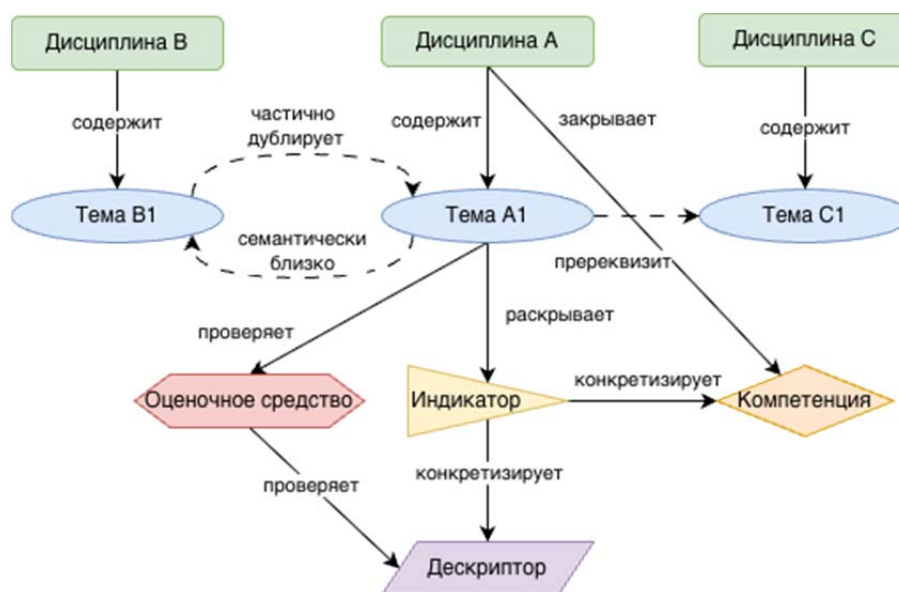


Рис. Типы связей в семантико-графовой модели

Поскольку семантический анализ в контексте построения графа позволяет выявлять степень сходства между компонентами ОП, представленные связи включают в себя не только бинарные отношения, но и более сложные взаимосвязи, учитывающие контекст и значение материалов.

Заключение

Таким образом, анализ существующих подходов и средств к построению взаимосвязей между компонентами ОП показал, что ни одно из направлений не обеспечивает комплексного решения задачи анализа взаимосвязей между компонентами ОП.

Развитием существующих идей может стать семантико-графовый подход, объединяющий формальные связи ОП, смысловое сходство текстовых компонентов и графовую структуру учебного плана. Такой подход позволяет перейти от формального соответствия к содержательной диагностике ОП. На основании предложенной семантико-графовой структуры в последующих работах будут формироваться методы и алгоритмы построения подобного представления взаимосвязей между компонентами ОП.

Список источников

1. Назаров Е.В. Онтологическое представление основной образовательной программы // Вестник кибернетики. 2021. № 3 (43). С. 51–59. DOI: 10.34822/1999-7604-2021-3-51-59 EDN VMICXV
2. Буланова И.А., Пылькин А.Н. Семантическая модель образовательной программы и программное обеспечение для ее построения, визуализации и анализа // Вестник РГРТУ. 2023. № 86. С. 133–144. DOI: 10.21667/1995-4565-2023-86-133-144
3. Применение силового алгоритма визуализации графов для анализа учебных планов образовательных программ высшего образования / Т.В. Зыкова [и др.] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2023. Т. 19. № 1. С. 104–116. DOI: 10.25559/SITITO.019.202301.104-116 EDN KZH0WJ
4. Тимофеев А.Н. Онтологический подход к разработке адаптивной модели компетенций и профессиональной подготовки в сфере информационных технологий // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2023. № 1 (35-1). С. 42–47. EDN HKVJSU
5. Automating the mapping of course learning outcomes to program learning outcomes using natural language processing for accurate educational program evaluation / N. Zaki [et al.] // Research Square. 2022. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2196467/v1

6. Vesilo R. Automation of curriculum mapping tools: managing the challenges of generic and specific data classifications using large language models and graphical methods // 36th Australasian Association for Engineering Education Annual Conference (AAEE2025): Engineering education: between the human and the digital. Engineers Australia, 2025. DOI: 10.3316/informit.T2026031700006491438511833
7. Gancevska B., Ramanauskaitė S. Mapping Moodle resources to course topics using text similarity methods and expert evaluation // Applied Sciences. 2026. Vol. 16. P. 2039. DOI: 10.3390/app16042039
8. Ontological approach for competency-based curriculum analysis / M. Milosz [et al.] // Heliyon. 2024. Vol. 10. № 7. P. e29046. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29046
9. Piriyaongpipat P., Goldin S., Ditcharoen N. An alternative approach to ontology-based curriculum development in higher education // Smart Learning Environments. 2024. Vol. 11. № 1. P. 20. DOI: 10.1186/s40561-024-00307-8
10. CourseKG: an educational knowledge graph based on course information for precision teaching / Y. Li [et al.] // Applied Sciences. 2024. Vol. 14. P. 2710. DOI: 10.3390/app14072710
11. A survey of knowledge graph approaches and applications in education / K. Qu [et al.] // Electronics. 2024. Vol. 13. № 13. P. 2537. DOI: 10.3390/electronics13132537
12. Корнеев Д.Г., Гаспарян М.С., Микрюков А.А. Онтологический подход к моделированию инновационных процессов на примере распределенной образовательной сети вуза // Открытое образование. 2019. Т. 23. № 5. С. 4–13. DOI: 10.21686/1818-4243-2019-5-4-13
13. Smith H., Chittams J. Defining best practices and validation for curriculum mapping // Cogent Education. 2024. Vol. 11. DOI: 10.1080/2331186X.2024.2342662
14. Алгоритм анализа и оценки учебных планов образовательных программ / Т.В. Зыкова [и др.] // Информатика и образование. 2024. Т. 39. № 1. С. 52–64. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-1-52-64 EDN UNSWXG
15. Кузьмина Е.А., Низамова Г.Ф. Формирование учебного плана на основе графовой модели // Информатика и образование. 2020 № 5. С. 33–43. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-5-33-43
16. Wengle E., Knorn S., Varagnolo D. COnCUR – COherence in CURricula: a tool to assess, analyze and visualize coherence in higher education curricula // IFAC-PapersOnLine. 2020. Vol. 53. P. 17598–17603. DOI: 10.1016/j.ifacol.2020.12.2675
17. Graph-theoretic approaches and tools for quantitatively assessing curricula coherence / D. Varagnolo [et al.] // European Journal of Engineering Education. 2021. Vol. 46. № 3. P. 344–363. DOI: 10.1080/03043797.2019.1710465
18. Wang Y., Zhan Z., Wang H. Network analysis of outcome-based education curriculum system: a case study of environmental design programs in medium-sized cities // Sustainability. 2025. Vol. 17. P. 7091. DOI: 10.3390/su17157091
19. Krishnan S., Rajendran S., Zakariah M. A secured accreditation and equivalency certification using Merkle mountain range and transformer-based deep learning model for the education ecosystem // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. P. 22511. DOI: 10.1038/s41598-025-06789-x
20. Дышенов Б.А., Найханова Л.В., Ширапов Д.Ш. Модуль подготовки коллекции рабочих программ для латентно-семантического анализа // Фундаментальные исследования. 2017. № 2. С. 57–61. EDN YGGCKV
21. Минаев Д.В. Подходы к проектированию и актуализации компетентностных моделей образовательных программ на основе интеллектуального анализа вакансий работодателей // Управленческое консультирование. 2023. № 10 (178). С. 45–68. DOI: 10.22394/1726-1139-2023-10-45-68 EDN QX MAGP
22. Александров А.С., Зарипова В.М. Анализ требований к ИТ-специалистам на основе вакансий, образовательных стандартов и предпочтений студентов с применением больших языковых моделей // Computational Nanotechnology. 2025. Т. 12. № 5. С. 80–94. DOI: 10.33693/2313-223X-2025-12-5-80-94 EDN ELOENB

23. Abu-Salih B., Alotaibi S. A systematic literature review of knowledge graph construction and application in education // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. № 3. P. e25383. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e25383

24. Fettach Y., Ghogho M., Benatallah B. Knowledge graphs in education and employability: a survey on applications and techniques // *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 1–1. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3194063

References

1. Nazarov E.V. Ontologicheskoe predstavlenie osnovnoj obrazovatel'noj programmy // *Vestnik kibernetiki*. 2021. № 3 (43). S. 51–59. DOI: 10.34822/1999-7604-2021-3-51-59 EDN VMICXV

2. Bulanova I.A., Pyl'kin A.N. Semanticheskaya model' obrazovatel'noj programmy i programmnoe obespechenie dlya ee postroeniya, vizualizacii i analiza // *Vestnik RGRTU*. 2023. № 86. S. 133–144. DOI: 10.21667/1995-4565-2023-86-133-144

3. Primenenie silovogo algoritma vizualizacii grafov dlya analiza uchebnyh planov obrazovatel'nyh programm vysshego obrazovaniya / T.V. Zyкова [i dr.] // *Sovremennye informacionnye tekhnologii i IT-obrazovanie*. 2023. T. 19. № 1. S. 104–116. DOI: 10.25559/SITITO.019.202301.104-116 EDN KZH0WJ

4. Timofeev A.N. Ontologicheskij podhod k razrabotke adaptivnoj modeli kompetencij i professional'noj podgotovki v sfere informacionnyh tekhnologij // *Intellectual'nye tekhnologii na transporte*. 2023. № 1 (35-1). S. 42–47. EDN HKVJSU

5. Automating the mapping of course learning outcomes to program learning outcomes using natural language processing for accurate educational program evaluation / N. Zaki [et al.] // *Research Square*. 2022. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2196467/v1

6. Vesilo R. Automation of curriculum mapping tools: managing the challenges of generic and specific data classifications using large language models and graphical methods // 36th Australasian Association for Engineering Education Annual Conference (AAEE2025): Engineering education: between the human and the digital. Engineers Australia, 2025. DOI: 10.3316/informit.T2026031700006491438511833

7. Gancevska B., Ramanauskaitė S. Mapping Moodle resources to course topics using text similarity methods and expert evaluation // *Applied Sciences*. 2026. Vol. 16. P. 2039. DOI: 10.3390/app16042039

8. Ontological approach for competency-based curriculum analysis / M. Milosz [et al.] // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. № 7. P. e29046. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29046

9. Piriyaopongpipat P., Goldin S., Ditcharoen N. An alternative approach to ontology-based curriculum development in higher education // *Smart Learning Environments*. 2024. Vol. 11. № 1. P. 20. DOI: 10.1186/s40561-024-00307-8

10. CourseKG: an educational knowledge graph based on course information for precision teaching / Y. Li [et al.] // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. P. 2710. DOI: 10.3390/app14072710

11. A survey of knowledge graph approaches and applications in education / K. Qu [et al.] // *Electronics*. 2024. Vol. 13. № 13. P. 2537. DOI: 10.3390/electronics13132537

12. Korneev D.G., Gasparian M.S., Mikryukov A.A. Ontologicheskij podhod k modelirovaniyu innovacionnyh processov na primere raspredelennoj obrazovatel'noj seti vuza // *Otkrytoe obrazovanie*. 2019. T. 23. № 5. S. 4–13. DOI: 10.21686/1818-4243-2019-5-4-13

13. Smith H., Chittams J. Defining best practices and validation for curriculum mapping // *Cogent Education*. 2024. Vol. 11. DOI: 10.1080/2331186X.2024.2342662

14. Algoritm analiza i ocenki uchebnyh planov obrazovatel'nyh programm / T.V. Zyкова [i dr.] // *Informatika i obrazovanie*. 2024. T. 39. № 1. S. 52–64. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-1-52-64 EDN UNSWXG

15. Kuz'mina E.A., Nizamova G.F. Formirovanie uchebnogo plana na osnove grafovoj modeli // *Informatika i obrazovanie*. 2020 № 5. S. 33–43. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-5-33-43

16. Wengle E., Knorn S., Varagnolo D. COncUR – COherence in CURricula: a tool to assess, analyze and visualize coherence in higher education curricula // *IFAC-PapersOnLine*. 2020. Vol. 53. P. 17598–17603. DOI: 10.1016/j.ifacol.2020.12.2675

17. Graph-theoretic approaches and tools for quantitatively assessing curricula coherence / D. Varagnolo [et al.] // *European Journal of Engineering Education*. 2021. Vol. 46. № 3. P. 344–363. DOI: 10.1080/03043797.2019.1710465
18. Wang Y., Zhan Z., Wang H. Network analysis of outcome-based education curriculum system: a case study of environmental design programs in medium-sized cities // *Sustainability*. 2025. Vol. 17. P. 7091. DOI: 10.3390/su17157091
19. Krishnan S., Rajendran S., Zakariah M. A secured accreditation and equivalency certification using Merkle mountain range and transformer-based deep learning model for the education ecosystem // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. P. 22511. DOI: 10.1038/s41598-025-06789-x
20. Dyshenov B.A., Najhanova L.V., Shirapov D.Sh. Modul' podgotovki kollekcii rabochih programm dlya latentno-semanticheskogo analiza // *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017. № 2. S. 57–61. EDN YGGCKV
21. Minaev D.V. Podhody k proektirovaniyu i aktualizacii kompetentnostnyh modelej obrazovatel'nyh programm na osnove intellektual'nogo analiza vakansij rabotodatelej // *Upravlencheskoe konsultirovanie*. 2023. № 10 (178). S. 45–68. DOI: 10.22394/1726-1139-2023-10-45-68 EDN QXMAGP
22. Aleksandrov A.S., Zaripova V.M. Analiz trebovanij k IT-specialistam na osnove vakansij, obrazovatel'nyh standartov i predpochtenij studentov s primeneniem bol'shih yazykovykh modelej // *Computational Nanotechnology*. 2025. T. 12. № 5. S. 80–94. DOI: 10.33693/2313-223X-2025-12-5-80-94 EDN ELOENB
23. Abu-Salih B., Alotaibi S. A systematic literature review of knowledge graph construction and application in education // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. № 3. P. e25383. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e25383
24. Fettach Y., Ghogho M., Benatallah B. Knowledge graphs in education and employability: a survey on applications and techniques // *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 1–1. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3194063

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 26.05.2026; одобрена после рецензирования: 27.06.2026; принята к публикации: 30.06.2026

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 26.05.2026; approved after review: 27.06.2026; accepted for publication: 30.06.2026

Информация об авторах:

Саратова Татьяна Евгеньевна, заведующий кафедрой прикладной математики Института информационных технологий МИРЭА – Российского технологического университета (119454, Москва, пр. Вернадского, д. 78), e-mail: saratova@mirea.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4810-8734>

Воронцова Евгения Константиновна, старший преподаватель кафедры математического обеспечения и стандартизации информационных технологий Института информационных технологий МИРЭА – Российский технологический университет (119454, Москва, пр. Вернадского, д. 78), e-mail: vorontsova@mirea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0105-9325>

Information about authors:

Saratova Tatyana E., head of the department of applied mathematics at the institute of information technologies of the MIREA – Russian university of technology (119454, Moscow, Vernadsky ave., 78), e-mail: saratova@mirea.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4810-8734>

Vorontsova Evgenia K., senior lecturer of the software and IT-standard department at the institute of information technologies of the MIREA – Russian university of technology (119454, Moscow, Vernadsky ave., 78), e-mail: vorontsova@mirea.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0105-9325>