

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»

На правах рукописи

Шкодина Татьяна Андреевна

**Модели и алгоритмы формирования индивидуальной траектории
электронного обучения на основе массовых открытых онлайн-курсов**

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель –
доктор экономических наук, профессор
Уринцов Аркадий Ильич

Москва – 2024

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Системы электронного обучения на основе массовых открытых-онлайн курсов	13
1.1 Системы электронного обучения: сущность, назначение, классификация ...	13
1.2 Особенности обеспечения качества систем электронного обучения	22
1.3 Формирование индивидуальной траектории электронного обучения для выбора массовых открытых онлайн-курсов в рекомендательных сервисах	27
Глава 2 Моделирование процессов формирования индивидуальной траектории электронного обучения на основе массовых открытых-онлайн курсов	32
2.1 Модели оценки качества онлайн-курсов электронного обучения.....	32
2.2 Моделирование функциональной полноты MOOK-платформ	41
2.3 Нечеткая модель и алгоритм оценки качества онлайн-курсов при формировании индивидуальной траектории электронного обучения	53
2.4 Методика формирования индивидуальной траектории электронного обучения на основе массовых открытых онлайн-курсов по результатам кластерного анализа.....	66
Глава 3 Разработка системы поддержки выдачи рекомендации (СПВР) по формированию индивидуальной траектории электронного обучения на основе массовых открытых онлайн-курсов	81
3.1 Онтологическая модель системы поддержки выдачи рекомендаций по формированию индивидуальной траектории обучения с учетом запросов и предпочтений обучающегося.....	81
3.2 Архитектура системы поддержки выдачи рекомендаций по формированию индивидуальной траектории электронного обучения.....	89
3.3 Программный инструментарий по формированию индивидуальной траектории электронного обучения	98

3.4 Оценка эффективности внедрения СПВР по формированию индивидуальной траектории электронного обучения	102
Заключение	111
Список сокращений и условных обозначений	113
Список литературы	115
Приложение А (обязательное). Анализ функциональной полноты систем электронного обучения.....	131
Приложение Б (обязательное).....	136
Многокритериальная статистическая кластеризация онлайн-курсов	136
Приложение В (обязательное)	159
Онтологическая модель и запросы по предпочтениям пользователя.....	159
Приложение Г (обязательное).....	163
Листинг кода СПВР	163
Приложение Д (обязательное)	170
Результаты расчётов оценки экономической эффективности электронного обучения	170

Введение

Актуальность темы исследования обусловлена потребностью развития электронного обучения на основе массовых открытых онлайн-курсов (МООК) в учебных заведениях. Ключевое место в профессиональной деятельности обучающихся любого направления занимают навыки самостоятельного изучения новых знаний, постоянного повышения своей компетентности. Возникает необходимость в подготовке обучающихся, способных ориентироваться в быстро меняющемся информационном обществе и способных к самообучению. Одним из вариантов, обеспечивающих решение данного вопроса подготовки обучающегося, который умеет приобретать новые навыки, способен учиться на протяжении многих лет, является использование МООК во время обучения в основном или дополнительном профессиональном образовании. Внедрение МООК в основные или дополнительные образовательные программы предполагает улучшение структуры обучения и более гибкую организацию всей системы, при которой обучающийся имеет возможность формировать индивидуальную траекторию обучения с учётом своих навыков (компетенций) и предпочтений. С появлением МООК Coursera и Stepik популярность электронного обучения резко возросла. При этом качество онлайн-курсов также растёт, технологии продолжают совершенствоваться, предоставляя различные приложения и платформы, помогающие создать универсальную среду для использования и просмотра контента.

МООК открывают возможности к любому виду образования. Формат МООК можно использовать в рамках повышения квалификации, профессиональной переподготовки или встроить в дополнительное профессиональное образование (ДПО), обучающийся выбирает изучение дополнительного материала на МООК-платформе и получение итогового сертификата, который даёт возможность получить удостоверение о повышении квалификации. В качестве главного преимущества МООК в ДПО является повышение доступности обучения,

повышение профессионального уровня, возможность обучения в индивидуальном темпе.

Также существует возможность использования MOOK в вузах. При составлении траектории обучения, охватывающей обязательные дисциплины учебной образовательной программы, обучающийся может формировать свой персональный путь обучения, в который входят все дисциплины учебного плана. При этом дисциплины вариативной части могут возмещаться MOOK, по результатам прохождения которых на MOOK-платформах осуществляется перезачёт с получением сертификата. Основная цель организации таких курсов заключена в подборе индивидуального набора компетенций MOOK для каждого обучающегося. Но в данном контексте возникает потребность в разработке онлайн-курсов и их публикации на существующих платформах MOOK или на внутреннем портале университета.

Однако существующие MOOK-платформы предлагают отдельные онлайн-курсы без предоставления автоматизации формирования и управления индивидуальной траектории обучения. Формирование такой траектории возможно на основе моделей и алгоритмов, обеспечивающих построение гибкой информационной системы поддержки выдачи рекомендаций (СПВР) по выбору MOOK. Незавершенность этого компьютерного инструментария и предопределила актуальность темы и основных направлений диссертационного исследования.

Степень разработанности темы исследования. Вопросам формирования индивидуальной траектории обучения в России и за рубежом посвящены работы: Александровой Е. А., Афанасьева А. Н., Бова В. В., Болотова К. П., Вайнштейна Ю. В., Войта Н. Н., Есина Р. В., Канева Д. С., Курейчика В. В., Лямина А. В., Норенкова И. П., Стерлягова Е. В., Чванова М. С., Храмова М. В., Шполянской И. Ю., Цибульского Г. М., Vaghi V. H., Biletskiy Y. A., E. O'Donnell, Hwang G. J., Yang S. J.-H. и др. Анализ исследований в данной области показывает особую актуальность вопросов формирования моделей, алгоритмов и методов принятия

решений при выборе траектории обучения и технологии создания индивидуального образовательного маршрута электронного обучения.

Вопросы выбора и оценки качества онлайн-курсов рассматривали Амонашвили Ш. А., Гершунский Б. С., Блинкова Л. М., Ушакова Н. В., Орлова Е. Р., Кошкина Е. Н. Авторы разработали упрощенный подход к оценке качества курсов, который заключается в формировании базовых критериев, таких как программа курса, вебинары, семинары, портфолио, но не учли такие важные критерии, как соответствие стандартам обучения, средства проверки знаний и выставление оценок, персонализация, социальная поддержка и т. д.

Вопросами моделирования информационных систем на основе онтологий в сфере образования занимались Тельнов Ю. Ф., Комлева Н. В., Шполянская И. Ю. Авторы рассматривали особенности семантического моделирования образовательных систем, но не исследовали возможности построения онтологической модели компетенций образовательных программ для дальнейшего формирования индивидуальной траектории обучения в информационных системах выдачи рекомендаций.

Вопросами математического моделирования информационных образовательных систем занимались Тихомиров В. П., Уринцов А. И., Долженко А. И. Однако авторы не исследовали вопросы, связанные с моделированием индивидуальной траектории электронного обучения в качестве средства информационной поддержки при предоставлении рекомендаций по выбору МООК.

Тем не менее вопросы разработки моделей и методов, позволяющих организовать информационную систему выдачи рекомендаций по формированию индивидуальной траектории обучения и тем самым повысить эффективность образования, представляются в настоящее время недостаточно изученными. Более того, недостаточно подробно изучены процессы, связанные с воздействием качества внедренных МООК на заинтересованность обучающихся при выборе онлайн-курсов. Потребность в решении всех вышеперечисленных вопросов выявляет необходимость дальнейшего развития методической базы,

математического аппарата в данной области и предопределяет выбор объекта, предмета, цели и задач диссертационного исследования.

Цели и задачи исследования. Цель исследования – разработка экономико-математического и компьютерного инструментария по формированию индивидуальной траектории электронного обучения на основе MOOK с учетом предпочтений обучающегося.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи**:

а) обосновать функциональные особенности существующих MOOK-платформ и классифицировать их в рамках однородных групп по признакам качества образовательных услуг;

б) систематизировать критерии качества MOOK, на основе которых сформировать интегральный показатель качества онлайн-курса;

в) разработать методику формирования индивидуальной траектории электронного обучения на основе различающихся по уровню сложности освоения компетенций MOOK, в соответствии с навыками и предпочтениями обучающегося, с учётом адаптивного оценивания уровня освоения знаний по результатам тестирования;

г) разработать онтологическую модель MOOK, оценивающую последовательность освоения компетенций (навыков) и онлайн-курсов с учётом предпочтений обучающегося;

д) разработать архитектуру СПВР и компьютерный инструментарий для обучающихся по формированию индивидуальной траектории электронного обучения;

е) разработать методику оценки экономической эффективности СПВР, и провести апробацию применения СПВР по формированию индивидуальной траектории электронного обучения.

Объектом диссертационного исследования является образовательная деятельность с использованием электронного обучения и массовых открытых онлайн-курсов.

Предметом диссертационного исследования являются методы, модели и алгоритмы формирования индивидуальной траектории электронного обучения в учебных заведениях, использующих массовые открытые онлайн-курсы.

Область исследования. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с паспортом научной специальности «5.2.2 – Математические, статистические и инструментальные методы в экономике по пунктам области исследования: 4. Разработка и развитие математических и компьютерных моделей и инструментов анализа и оптимизации процессов принятия решений в экономических системах; 18. Развитие и применение инструментария проектирования, разработки и сопровождения информационных систем в интересах субъектов экономической деятельности».

Теоретической и методологической основой исследования являются работы отечественных и зарубежных ученых в области электронного обучения, экономико-математического моделирования, экономического анализа, прикладной информатики. При проведении исследования применялись методы математического анализа, системного анализа, нечеткой логики, онтологического моделирования, объектного моделирования, функционального программирования, объектно-ориентированного программирования, многомерного статистического анализа и машинного обучения. Для обработки данных и проведения расчетов на основе построенных моделей использовались программные средства MS Excel, редактор онтологий Protege 4.4, среда разработки и моделирования UMLStar, интерактивная облачная среда Google Colab, среда разработки Jupyter, кроссплатформенный программный инструментарий Anaconda 5.0, язык программирования Python (библиотеки статистической обработки Pandas, NumPy, SciPy, Matplotlib, Seaborn, Scikit Learn).

Информационную базу диссертации составили: российский федеральный закон об образовании, нормативные правовые акты и зарубежные материалы, посвящённые формированию и управлению индивидуальной траектории электронного обучения; статистические базы данных MOOK (Stepik, Corsera, GetCourse, Openedu, Прометей, iSpring Learn, Talent, Moodle, Canvas, uQualio);

аудиторский портал бухгалтерской отчетности и финансового анализа (Audit-it.ru); базы данных Федеральной налоговой службы и Росстата РФ.

Научная новизна заключается в разработке моделей, алгоритмов и компьютерного инструментария – СПВР по формированию индивидуальной траектории электронного обучения с учётом предпочтений обучающегося и оценки качества MOOK на основе нечетких множеств с использованием онтологии, содержащей изучаемые MOOK в соответствии с компетенциями.

Научную новизну содержат следующие **результаты исследования**:

– выявлены функциональные особенности MOOK-платформ, различающиеся по характеристикам их полноты: доступность MOOK, выдача сертификатов, эффективность учебных курсов, администрирование, персонализация контента, мобильность, интеграция с приложениями, всего 50 показателей; получены сравнительные количественные характеристики качества образовательных услуг. На основе выявленных особенностей предложена методика для оценки функциональных возможностей MOOK-платформ, состоящая из двух этапов: формирование характеристик MOOK-платформ и классификация MOOK-платформ (полнофункциональные, минимально-достаточные, ограниченные).

– предложен подход к формированию интегрального показателя качества MOOK в терминах нечётких множеств, базирующийся на оценке отдельных критериев качества онлайн-курса в виде иерархического графа. Критерии качества MOOK учитывают требования к контенту и качеству услуг MOOK, а также удовлетворенность пользователей онлайн-курсом: качество содержания онлайн-курса, структура курса, актуальность материала, программа курса, соответствие стандартам обучения, корректно работающие ссылки, материалы и мультимедиа, преимущества курса, средства проверки знаний и выставления оценок, успеваемость обучающихся, поддержка обучающихся, обратная связь, практическая польза, эффективность обучения по результатам контрольных мероприятий, доступность MOOK, обратная связь, экономическая эффективность.

– разработана методика формирования индивидуальной траектории электронного обучения на основе процедур кластеризации онлайн-курсов по критериям: уровень сложности освоения MOOK, длительность обучения, стоимость обучения. Методика предполагает формирование траектории освоения навыков (компетенций) в виде графовой модели, обеспечивающей адаптивное оценивание знаний обучающегося по результатам тестирования для корректировки уровня сложности онлайн-курса на последующих этапах освоения MOOK;

– разработана онтологическая модель MOOK, оценивающая последовательности освоения компетенций (навыков) и онлайн-курсов. Представлены свойства-указатели для связи онлайн-курсов и компетенций, определена логическая последовательность освоения компетенций на основе свойства «hasNext»;

– разработаны архитектура СПВР и компьютерный инструментарий, предоставляющий в интерактивном режиме точные персонализированные рекомендации по формированию индивидуальной траектории электронного обучения, учитывающая последовательность освоения навыков (компетенций) и успешность прохождения обучения. СПВР состоит из набора развертываемых сервисов: сбор данных, формирование оценок о текущей успеваемости, построение траектории обучения, оценка качества онлайн-курса, выдача персонализированных рекомендаций, формирование базы онлайн-курсов (онтология). СПВР сопоставляет онлайн-курсы в соответствии с компетенциями, применяя созданную онтологическую модель;

– разработана методика оценки экономической эффективности СПВР, и проведена апробация применения СПВР по формированию индивидуальной траектории обучения. Предложен показатель оценки окупаемости затраченных средств разработанного компьютерного инструментария на основе критериев эффективности СПВР: общее количество посещений слушателей MOOK, количество слушателей MOOK, доля слушателей коммерческих MOOK, позиция MOOK-платформы в поисковых запросах, количество новых слушателей, прибыль

от применения СПВР, доходы MOOK-платформ после внедрения СПВР, затраты на создание и размещение СПВР на MOOK-платформе.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Теоретическая значимость данного исследования заключается в развитии методического аппарата оценки эффективности обучения на основе MOOK и повышении эффективности формирования индивидуальных траекторий обучения с учётом многокритериального характера задачи принятия решений о выборе MOOK; в разработке моделей и алгоритмов поддержки выдачи рекомендаций по формированию индивидуальной траектории с учетом предпочтений обучающегося и оценки качества онлайн-курсов. Практическая значимость работы состоит в возможности использования полученных результатов, моделей, алгоритмов и компьютерного инструментария по формированию индивидуальной траектории обучения в практической деятельности образовательных учреждений, предоставляющих MOOK.

Апробация и внедрение результатов исследования. Теоретические положения и практические рекомендации, сформулированные в диссертационном исследовании, докладывались на научно-практических конференциях: Новые информационные технологии и системы: «XVI Международная научно-техническая конференция» (Пенза, 2019); Проблемы проектирования и безопасности информационных систем в условиях цифровой экономики: «XIX Международная научно-практическая конференция» (Ростов-на-Дону, 2019); Новые информационные технологии и системы: «XVII Международная научно-техническая конференция» (Пенза, 2020); Проблемы проектирования, применения и безопасности информационных систем в условиях цифровой экономики: «XX Международная научно-практическая конференция, посвящённая 85-летию доктора экономических наук, профессора Кардаша В. А.» (Ростов-на-Дону, 2020); Молодежь и современные информационные технологии: «XVII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых» (Томск, 2020); Управление качеством в образовании и промышленности: «Всероссийская научно-техническая конференция» (Севастополь, 2020);

Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятий решений: «VIII Всероссийская научная конференция» (Уфа, 2020); Системный анализ в проектировании и управлении: «XXIV Международная научная и учебно-практическая конференция» (Санкт-Петербург, 2020), Инжиниринг предприятий и управление знаниями: «XXV Российская научная конференция» (Москва, 2022).

Отдельные авторские положения диссертации используются в деятельности СПВР ФГБОУ ВО «РЭУ им Г. В. Плеханова», ФГБОУ ВО «РГЭУ(РИНХ), ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ)». Некоторые результаты диссертационной работы используются в практической работе университета ФГБОУ ВО РГЭУ(РИНХ) при преподавании дисциплин «Web-программирование», «Статистический анализ данных на Python», «Технологии обработки данных», «Web-технологии».

Публикации. Основные выводы, полученные в результате выполнения диссертационного исследования, отражены в 20 публикации автора, в том числе четыре публикации в изданиях, рекомендованных ВАК. Общий объем публикаций составляет 7,97 печатных листов (авторские 4,69 п. л.).

Структура и объем работы. Работа изложена на страницах, состоит из введения, 3 глав, общих выводов, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 186 страниц и включает 29 рисунков, 25 таблиц, 5 приложений на 40 страницах. Список литературы включает 116 наименований.

Глава 1 Системы электронного обучения на основе массовых открытых онлайн-курсов

1.1 Системы электронного обучения: сущность, назначение, классификация

Правительством Российской Федерации утверждена государственная программа № 1642 от 26 декабря 2017 года «Развитие образования» [35]. Данная государственная программа позволяет развивать и улучшать качество образования, используя электронное обучение. Согласно Федеральному закону 273 «Об образовании в Российской Федерации» (статья 16), под электронным обучением понимается организация образовательной деятельности с применением содержащейся в базах данных и используемой при реализации образовательных программ информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий, технических средств, а также информационно-телекоммуникационных сетей, обеспечивающих передачу по линиям связи указанной информации, взаимодействие обучающихся и педагогических работников [5].

Электронное обучение относится к использованию электронных систем и приложений в процессе обучения. Электронное обучение способствует возможности удаленного взаимодействия между студентами и опытными преподавателями, профессорами [67].

Электронное обучение меняет карту как глобального образования, так и корпоративного обучения [51]. Повсеместная доступность дистанционного обучения, особенно в развивающихся странах, привлекла большое внимание исследователей из самых разных культур и контекстов [68]. Многие исследователи превозносят электронное обучение перед традиционным из-за сочетания синхронной и асинхронной структур [48]. Огромные успехи были достигнуты в

предоставлении решений для электронного обучения, что привело к ожиданиям в отношении потенциала электронного обучения [47].

Розенберг [49] определяет термин «электронное обучение» как интернет-технология для предоставления множества решений, которые улучшают знания и производительность. Электронное обучение основано на трех фундаментальных критериях, предложенных Розенбергом: сетевое обучение для мгновенного обновления, распространения, хранения, поиска и обмена информацией, доставка контента через World Wide Web (WWW), ориентация на самый широкий взгляд на обучение и обучающие решения.

Ключевые атрибуты электронного обучения, включенные в вышеприведенное определение:

- групповое общение,
- независимость от геолокации,
- асинхронность (независимо от времени),
- мультимедиа,
- обмен сообщениями через компьютер, онлайн-конференции.

Наиболее полный обзор проблем электронного обучения был представлен Андерссоном и Гренлундом в 2009 году, в котором было рассмотрено 60 статей, относящихся к области барьеров электронного обучения, и разделены проблемы тематически на четыре концептуальные категории: технологические, связанные с курсом, индивидуальные и проблемы, связанные с контекстом. Соответственно была предложена структура ТИРЕС (технологические, индивидуальные, педагогические барьеры и благоприятные условия) для облегчения структурирования всех исследований барьеров электронного обучения в отношении технологических, индивидуальных, педагогических барьеров и позволяющих концептуальных категорий (рисунок 1).

Обеспечение доступности, компетенций и мотивации в e-learning – необходимая задача, которую необходимо выполнить для успешного развития электронного обучения.



Рисунок 1 – Барьеры внедрения электронного обучения

Источник: разработано автором

Существует множество проблем внедрения электронного обучения, такие как первичные знания обучающихся; мотивация обучающихся на основе навыков, интересов, поведения и активности [50]; технологические трудности при использовании технологий электронного обучения; компьютерная грамотность [63]; восприимчивость [64], чувство самоизоляции [66]; финансовая трудность [68, 57]; самоэффективность, неуверенность студентов в использовании электронного обучения и неуверенность в завершении онлайн-курса; отсутствие навыков ИКТ [50]; непоследовательная готовность к обучению [57]; стоимость использования технологий [58]; повышение квалификации профессорско-преподавательского состава; отсутствие обратной связи; отсутствие настройки контента [60]; социальное безделье; индивидуальная культура студентов.

Разработки в области электронных обучающих сред открывают новые формы взаимодействия для обучения. Среда электронного обучения должна поддерживать быстрое увеличение размера и разнообразия данных с помощью соответствующих

семантических служб. Семантические службы генерируют окружающий семантический контекст для поддержки обучения.

Ключевые проблемы электронного обучения:

- открытие новых обучающихся сообществ;
- методы поощрения и поддержки взаимодействия;
- методы персонализации, отвечающие личным потребностям пользователя и текущей активности;
- разработка систем поддержки мобильных сообществ обучающихся;
- новые методы понимания и поддержки обучающихся сообществ;
- новые формы интерфейса для поддержки обучения.

Электронное обучение обычно используется для веб-обучения, которое позволит обучающимся получить доступ к онлайн-курсам через Интернет. Учитывая Федеральный закон 273 «Об образовании в Российской Федерации» (статья 2), обучающийся – это физическое лицо, осваивающее образовательную программу [4].

Интерес к электронному обучению растет с быстрым развитием компьютеров и высокоскоростным доступом в Интернет. На высоком уровне компоненты электронного обучения можно разделить на две категории: концептуальные и физические. Физические компоненты включают файлы обучающего контента, базы данных и программное обеспечение для управления, которые существуют в электронном виде. Концептуальные компоненты включают курсы и уроки. Самая маленькая часть учебного контента часто называется учебным объектом (Learning Object, LO). Лучший способ определить размер LO – сопоставить его с концепцией или целью обучения. Объекты обучения – это строительные блоки для содержания обучения.

За рубежом используются следующие формы электронного обучения:

Blended Learning (гибридное обучение) – объединение традиционного и дистанционного обучения. Технология виртуальной классной комнаты использует синхронную форму обучения с поддержкой инфокоммуникационных технологий. Web Based Collaboration (коллективная работа) предполагает совместную учебную

работу группы людей с использованием сети Интернет. Whiteboard, или Flipchart (лекционный плакат) даёт возможность пользователям совместно создавать и анализировать эскизы с помощью различного инструментария. Business TV (бизнес-телевидение) – это программа телевидения, созданная с целью стимуляции групп людей к обучению.

В России электронное обучение является актуальным. В основном освещаются вопросы дистанционного обучения, которое является только частью электронного обучения. Следовательно, важной задачей является переход от дистанционного к электронному обучению.

Электронное обучение – это обучение, реализуемое с использованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ).

Сегодня электронное обучение в основном проходит в форме массовых открытых онлайн-курсов (МООК). Онлайн-курс – основная единица организации электронного обучения.

Термин «онлайн-курс» введен в образовательную деятельность приказом Минобрнауки России от 23 августа 2017 г. № 816 (статья 16, часть 3): организации вправе осуществлять реализацию образовательных программ или их частей с применением исключительно электронного обучения, дистанционных образовательных технологий, организуя учебные занятия в виде онлайн-курсов, обеспечивающих для обучающихся независимо от их места нахождения и организации, в которой они осваивают образовательную программу, достижение и оценку результатов обучения путем организации образовательной деятельности в электронной информационно-образовательной среде, к которой предоставляется открытый доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» [5].

МООК – это онлайн-курсы, созданные для неограниченного количества обучающихся и находящиеся в открытом доступе в сети Интернет.

Целью ускоренного внедрения электронного обучения является Указ Президента Российской Федерации № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»

[2] и № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» [3].

Сегодня современный обучающийся университета нацелен на получение уникальных данных и компетенций. Для обеспечения данной потребности университету приходится вводить индивидуальные траектории обучения. Именно использование MOOK может решить задачу персонализации обучения, при этом используя меньшее количество ресурсов. Некоторые университеты России уже используют платформы для MOOK, такие как [26, 23, 25].

Доминирующей технологией обучения является тип системы, который организует и проводит онлайн-курсы – система управления электронным обучением (Learning Management System, LMS). Данная система – неотъемлемая часть в среде электронного обучения. Система управления обучением с помощью учебного контента организует курс, разделенный на модули и учебные объекты. LMS помогает следовать определенной учебной программе, которая должна быть завершена в заданном темпе.

Изменения охватывают все отрасли в целом и не являются уникальными для образования, поэтому во многих отношениях образование отстало от некоторых из этих тенденций.

Меняющаяся демография студенческого населения обеспечила климат, в котором использование лично-ориентированного обучения процветает [60]. Обучение характеризуется не только большей автономией для обучающихся, но также ставится больший акцент на активном обучении, с творчеством.

Технология образования является систематическим методом создания и определения всего процесса обучения, включая человеческие и технические ресурсы, их взаимодействие, направленное на оптимизацию формы обучения. Электронное обучение определяется как любое обучение с использованием технологий. Это включает обучающихся, использующих программное обеспечение в компьютерном классе и в Интернете.

Согласно национальному стандарту Российской Федерации «Информационно-коммуникационные технологии в образовании» (утв. и введен в

действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2017 г. № 1256-ст) использование информационно-коммуникационных технологий в сфере образования способствует развитию систем электронного обучения [1].

Наиболее популярные системы управления электронным обучением:

— Moodle. Открытая социальная медиа-платформа для педагогов, ориентированная на совместное кураторство коллекций открытых ресурсов, обладает широкими возможностями кастомизации;

— Stepic. Облачная платформа, предназначенная для создания и распространения интерактивного образовательного контента, а также предоставления различных типов автоматически оцениваемых заданий с обратной связью в режиме реального времени. Спонсорами данной платформы являются JetBrains, SAP, Intel, Kaspersky Lab, Oracle, IBM и многие другие;

— iSpring Learn. Облачная платформа для корпоративного обучения с простым конструктором курсов. Систему дистанционного обучения (СДО) используют как крупные компании с развитой сетью филиалов, так и частные бизнес-тренеры, репетиторы;

— Skolera. Это единая учебная платформа (SMS, School Management System), которая использует новейшие образовательные подходы и технологии;

— NEO LMS. Система управления обучением для школ и университетов. NEO – это платформа онлайн-обучения, которая помогает школам управлять всеми классными мероприятиями, такими как создание и предоставление учебного контента, оценка студентов, отслеживание их результатов и поощрение коммуникации и сотрудничества между студентами и преподавателями;

— Loop. Облачная платформа коммерческого типа. Систему дистанционного обучения используют крупные организации;

— Coursera (продажа сертификатов);

— HTMLAcademy (продажа дополнительного контента).

Анализ наиболее распространенных LMS, таких как HTMLAcademy, Looop, Coursera, NEO LMS, Skolera, iSpring Learn, Stepic, Moodle, Adobe Captivate Prime, LearnUpon, Docebo, Talent, uQualio, Canvas позволяет сделать вывод о возможности индивидуальной разработки LMS. При работе с различными LMS встает вопрос о необходимости классификации таких систем по определенным признакам:

- по охвату учебных курсов;
- по форме представления новых знаний;
- по целевому назначению;
- по субъектам проектирования;
- по модели обучения;
- по временному фактору;
- по способу контроля;
- по способу и средству коммуникации;
- по типу заданий;
- по роли обучающегося;
- по программным средствам обучения;
- по методическим функциям;
- по ценностно-целевым ориентирам;
- по способу оплаты;
- по типу доступа.

Классификация систем онлайн-обучения представлена на рисунке 2.

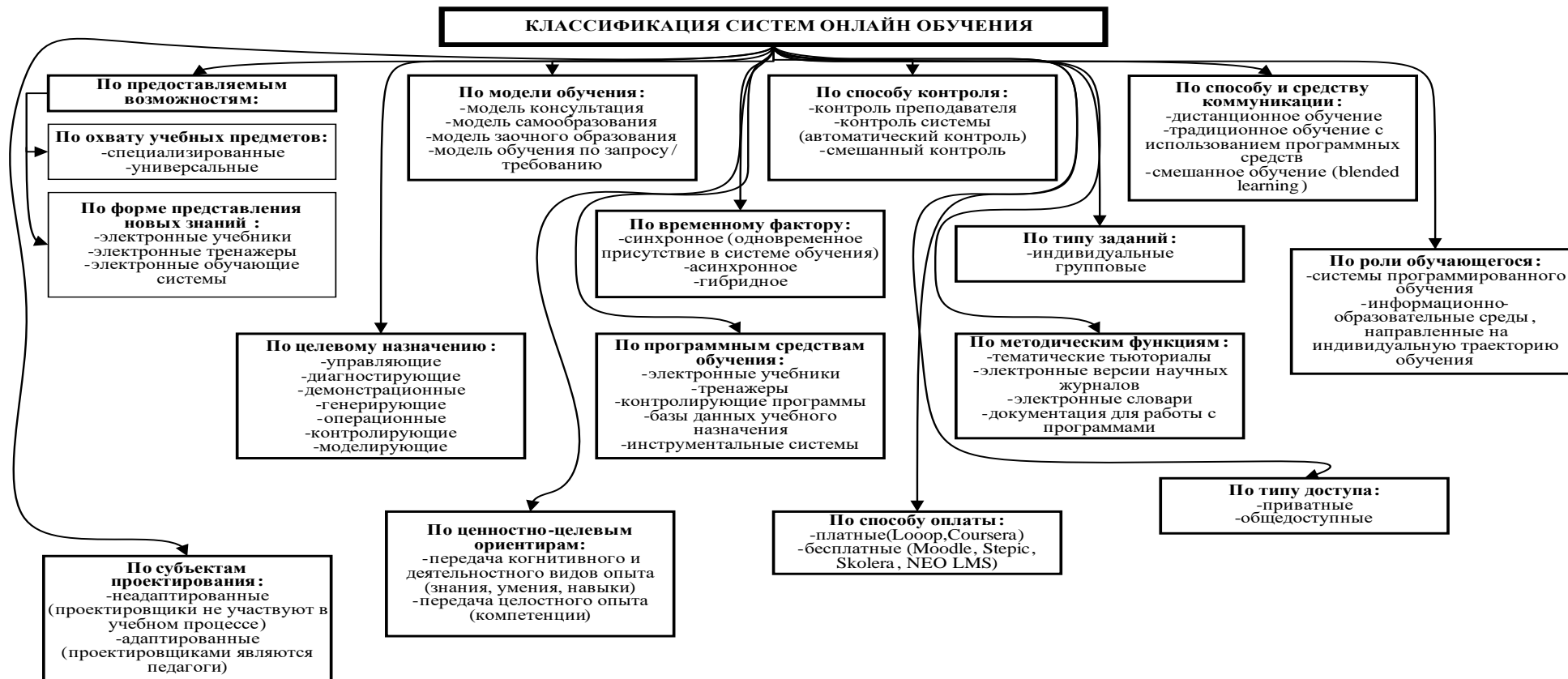


Рисунок 2 – Классификация систем онлайн-обучения

Источник: разработано автором

1.2 Особенности обеспечения качества систем электронного обучения

Внедрение электронного обучения на системном уровне затрагивает все процессы жизнедеятельности учебных организаций. В постоянно меняющихся условиях, когда организация вводит инновации и модернизирует структуры, процессы контроля качества играют важную роль, которые дополняются индивидуальными подходами. Контроль качества систем онлайн-обучения, а также структур поддержки, должны гармонизировать с уже существующими структурами обеспечения и контроля качества в учебной организации. Кроме того, онлайн-обучение – это неотъемлемый элемент образовательной системы. Иными словами, обеспечение качества электронного обучения – часть в общей системе управления качеством образования.

Термин «обеспечение качества» в данном контексте описывает все виды деятельности по обеспечению и совершенствованию качества.

Согласно Федеральному закону от 17.02.2023 № 273 «Об образовании в Российской Федерации» (статья 18, часть 1), «качество образования – комплексная характеристика образовательной деятельности и подготовки обучающегося, выражающая степень их соответствия федеральным государственным образовательным стандартам, образовательным стандартам, федеральным государственным требованиям и (или) потребностям физического или юридического лица, в интересах которого осуществляется образовательная деятельность, в том числе степень достижения планируемых результатов образовательной программы» [79]. Существует большое количество зарубежных программ по внедрению мультимедийных технологий, программ по модернизации технической базы, программ по использованию инновационного потенциала современных инфокоммуникационных технологий. Но наряду с существующими программами имеют место и проблемы обеспечения качества онлайн-обучения.

Основная цель процессов качества образования – обеспечение академического качества и развитие образовательного процесса для достижения необходимых целей. Онлайн-обучение – эффективное обучение, использующее технологические средства для передачи цифрового контента с помощью поддержки обучения и услуг. Однако электронное обучение – это не только технологическая сторона программного обеспечения, но и поддержка управления образовательной деятельностью, необходимая для оценки качества онлайн-обучения. Без применения термина «качество» к ключевым элементам онлайн-обучения процесс обучения потерпит неудачу.

Качество онлайн-обучения понимается как предоставление высококачественных возможностей обучения, позволяющих обучающимся эффективнее приобретать когнитивные навыки.

Достижение качества систем электронного обучения – сложная задача. Соответственно, одна из наиболее важных целей для высших учебных заведений – достижение высокого и удовлетворительного уровня качества в своих системах электронного обучения. Достижение такого уровня требует адекватных и постоянных улучшений для всех элементов среды электронного обучения.

Иметь стандартную структуру качества электронного обучения очень сложно. Основная причина, вызывающая сложность структурирования практической основы качества – это предпочтения обучающихся, т. е. индивидуальная траектория обучения.

Актуальность электронного обучения старались определить со второй половины двадцатого века. Было проведено множество эмпирических исследований для проверки качества онлайн-курсов с разных сторон. В связи с повышением сложности моделирования поведения человека в виртуальной среде традиционное обучение ограничено в обеспечении гибкой или динамичной электронной среды обучения для обучающихся. Адаптация содержания электронного обучения в отношении нескольких задач электронного обучения является открытой исследовательской проблемой.

Одной из проблем обеспечения качества электронного обучения являются стили обучения. Стил обучения был определен Keefe (1979) как «характерное поведение учащихся, которые служат относительно стабильными индикаторами того, как они воспринимают, взаимодействуют друг с другом и реагируют на учебную среду».

П. Блюменфельд, Е. Соловей считает, что проблемой электронного обучения является применение метода проекта в персональном обучении. В ходе подготовки персонального проекта обучающиеся занимаются поиском информации, отбором. Индивидуальный проект рассматривается как результат завершенного онлайн-курса. Обучающийся вовлечен в собственную исследовательскую деятельность.

Следующей проблемой электронного обучения является использование онтологий для систематизации, поиска и рекомендаций онлайн-курсов. Онтологии позволяют расширить рекомендательную систему для вычислительной среды, основываясь на знаниях подходов совместно с классическими алгоритмами машинного обучения, статистическими корреляциями, профилированием пользователей и специфическими для предметной области эвристиками.

Важно обеспечить связь контента с целями обучения в учебном курсе. Разработка оптимальной стратегии достижения результатов достигается с помощью классификатора образовательных целей. Анализ текущей ситуации развития средств и методов онлайн-обучения показывает, что именно персонализация контента становится мировым трендом в онлайн-обучении. Персонализация контента позволяет интенсифицировать процесс обучения.

Существует проблема информационной перегрузки рекомендательной системы. Использование технологий Semantic Web позволяет интегрировать знания о пользователях и ресурсах и повысить эффективность формирования рекомендаций, а разработка и построение рекомендаций по выбору онлайн-курсов обеспечивает более высокую персонафикацию рекомендательной системы.

Для достижения цели исследования был проведен обзор литературы с помощью таких методов, как сбор данных, синтез литературы, оценка данных, анализ и интерпретация соответствующих данных, формулирование проблем,

систематизация и представление результатов в таблице 1. Анализ существующих проблем электронного обучения предопределил необходимость в формировании иерархии проблем электронного обучения (рисунок 3).

Таблица 1 – Проблемы электронного обучения

Авторы	Проблемы электронного обучения
М. С. Чванова, М. В. Храмова	Проблема в технологии обучения, которая не может индивидуализировать обучающегося [63, 64]
Л. М. Блинкова, Н. В. Ушакова	Проблемы организации проектной деятельности; проблема разработки критериев оценки проектов [65, 66]
Е. Р. Орлова, Е. Н. Кошкина	Проблема внедрения электронного обучения, проблема качества электронного обучения; проблема наличия качественных электронных курсов [67, 68]
М. У. Солтогулова	Проблема сложности отбора, упорядочивание учебных модулей; сложность структурирования содержания учебных курсов в разных моделях электронного обучения [71, 73, 74]
А. Г. Асмолов, Ш. А. Амонашвили, Б. С. Гершунский	Проблема эффективности метода построения индивидуальной траектории обучения [75]
Т. Кошман, Т. Келсон, Ф. Фелтович, Г. Бэрроуз	Проблема персонализации электронного обучения [76]
П. Блюменфельд, Е. Соловей	Проблема применения метода проекта в персональном обучении [82]
Е. А. Александрова, Т. М. Ковалева, Е. В. Стерлягова	Проблема индивидуализации траектории обучения [90]
Allen, Seaman (2010, 2014) Hoyt, Oviat (2013), Herman (2013), Miller (2014), Mayer (2014), Chametzky (2014)	Проблема разработки, содержания контента; проблема обучающей стратегии [98]
Anderson (2011), Bawane and Spector (2009), Limperos (2015), Fein and Logan (2003)	Проблема стилей обучения, проблема построения индивидуальной траектории обучения [114]

Источник: разработано автором

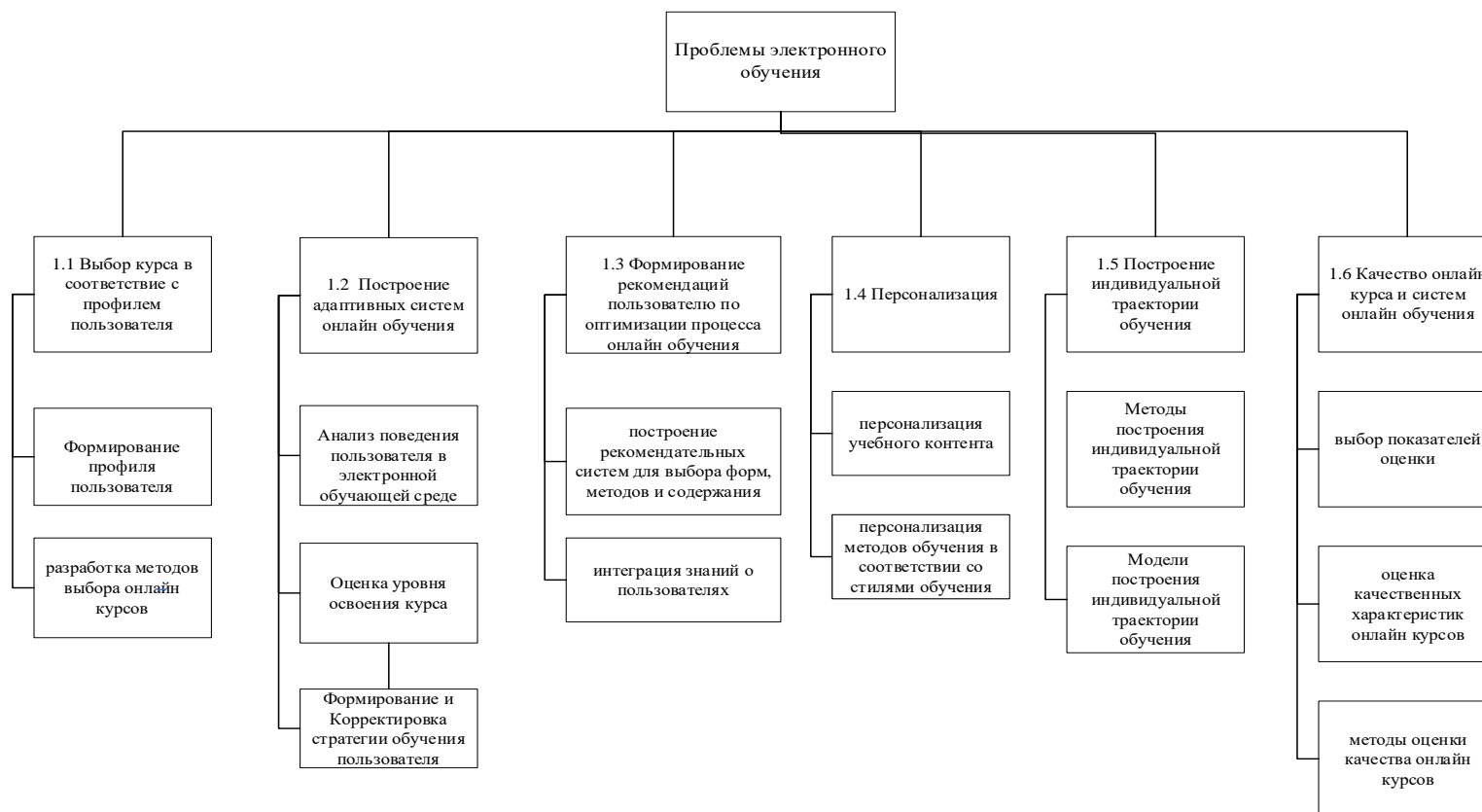


Рисунок 3 – Проблемы электронного обучения

Источник: разработано автором

1.3 Формирование индивидуальной траектории электронного обучения для выбора массовых открытых онлайн-курсов в рекомендательных сервисах

Термин индивидуальная траектория обучения является устоявшимся, используется в научных рукописях, в частности, в [19].

Н. Н. Суртаева считает, что индивидуальная траектория обучения представляет определенную последовательность элементов учебной деятельности.

П. В. Сысоева считает, что главное в траектории обучения – это развитие умений самостоятельной образовательной деятельности с использованием методических элементов, которые содержат модели и методы вариативности обучения. В связи с ростом инфокоммуникационных технологий в образовании для построения индивидуальной траектории обучения используются асинхронное и синхронное обучения. Синхронная модель обучения – это онлайн-деятельность, происходящая в режиме реального времени. Асинхронное обучение характеризуется несинхронностью обучения.

Основные проблемы построения индивидуальной траектории обучения:

а) Проблема формирования индивидуальной траектории электронного обучения по предпочтениям обучающегося. Формирование индивидуальной траектории основывается на построенной модели или алгоритме. Создание адаптивной траектории обучения происходит с помощью элементов знаний в определенной последовательности. Выбор и последовательность элементов знаний определяется на основе характеристик и предпочтений обучающегося [42].

б) Персонализация обучения. Персонализированное онлайн-обучение включает индивидуальную траекторию обучения, которая нацелена на поиск лучших онлайн-курсов. Практическое применение рекомендаций по выбору траектории обучения в онлайн-обучении может повысить качество обучения [43]. Для решения проблемы персонализации необходимо выявить и описать, как минимум три элемента: платформа e-learning, информация об обучающимся – профиль обучающегося и отношения между учебными объектами [42].

в) Процесс адаптации с целью минимизации индивидуальной траектории электронного обучения.

г) Многокритериальная оптимизация. Задача многокритериального выбора онлайн-курсов необходима для удовлетворения предпочтений обучающегося по различным критериям: сложность, длительность, стоимость, формат представления обучения и т. д.

д) Недостаточная проработка методов формирования онлайн-курсов.

Формулирование модели траектории обучения предполагает дальнейший выбор метода построения траектории обучения в соответствии с проблемой обучения:

- Эволюционные методы (Genetic Algorithm);
- Оптимизация колонии муравьев (Ant Colony Optimization) [77];
- Оптимизация роя частиц (Particle Swarm Optimization) [78].

Также можно использовать модели и информационные технологии в экономике и образовании автора [29].

Оптимизация колонии муравьев представляет собой систему, основанную на колонии муравьев, имитирующей естественное поведение муравьев. Обучающиеся моделируются как муравьи, а последовательность – как дуги между вершинами (узлами). Но нет гарантии, что данный метод усилит процесс обучения, т. к. муравьи могут посещать повторно одно и то же место, но на практике обучающиеся могут жаловаться и скучать, если они возвращаются к определенному учебному объекту дважды [77]. Методы формирования индивидуальной траектории электронного обучения могут быть реализованы в виде систем поддержки выдачи рекомендаций [42]. Задача рекомендательных систем – это предсказание объектов с учетом предпочтений обучающихся. Подходы при построении рекомендательных систем:

- Коллаборативная фильтрация (collaborative filtering, CF);
- Контентная фильтрация (content-based filtering, CBF);
- Смешанная фильтрация.

При контентной фильтрации объекты выбираются путем обнаружения сходства между атрибутами текущего курса (название, ключевые слова, аннотация и т. д.) и другими курсами. При смешанной фильтрации элементы или объекты целевому пользователю рекомендуются на основе аналогичных пользовательских предпочтений и мнений других пользователей с аналогичными вкусами.

В литературе было предложено много подходов к рекомендательным системам:

- Система персонализированных рекомендаций на основе семантической сети для исследования знаний о курсах [95];
- Система рекомендаций электронного обучения, основанная на учебной деятельности; система, основанная на самоорганизующихся картах и ассоциативном майнинге [98];
- Гибридная система рекомендаций на основе атрибутов для рекомендации материалов для электронного обучения [99];
- Система рекомендаций для учебных объектов, основанная на слиянии социальных сигналов, интересов и предпочтений обучающихся пользователей [100].

Наиболее популярными и широко используемыми сегодня платформами по рекомендации онлайн-курсов являются: Blackboard, Schoology, Coursera, Moodle, Skillshare, iSpring Learn, LearnUpon, Docebo, Litmos, Talent, iSpring Learn (таблица 2).

Результаты посещаемости показал февральский рейтинг аналитического портала SimilarWeb [30].

Таблица 2 – Популярные платформы по выбору онлайн-курсов (2021 год)

Название платформы	Посещаемость, млн
Blackboard	153,66
Schoology	134,07
Coursera	43,29

Название платформы	Посещаемость, млн
Talent	12,24
Skillshare	7,96
Litmos	2,06
LearnUpon	1,24
Moodle (в тысячах)	715,91
iSpring Learn (в тысячах)	353,32
Docebo (в тысячах)	141,38
Stepic (в тысячах)	140,31

Источник: разработано автором с использованием данных [30]

Упомянутые платформы для онлайн-обучения используют свои рекомендательные системы с целью рекомендации онлайн-курса. Недостатком рекомендации на данных платформах является то, что они рекомендуют курс целиком, но не часть курса – тему (учебный объект). Следовательно, такие системы не смогут помочь пользователю в изучении онлайн-курса, который он выбрал. Системы рекомендаций или механизмы рекомендаций формируются или работают на основе определенного типа системы фильтрации информации, которая пытается рекомендовать элементы информации, которые могут быть интересны пользователю.

Наиболее популярные российские системы электронного обучения: GetCourse [23], Stepik [26], We.Stady [28], CoreApp, [22], Teachbase [27], Mirapolis[24].

Таким образом, проведенный в параграфе анализ литературы позволил выделить основные проблемы электронного обучения, методы и модели формирования индивидуальной траектории обучения, показатели оценки качества онлайн-курсов, критерии оценивания онлайн-курсов, функции рекомендательных систем. Используя эти данные, в главе 2 разработаны: кластеризация онлайн-курсов по нескольким критериям одновременно, модель оценки качества онлайн-курсов, проведена многокритериальная оптимизация онлайн-курсов по

предпочтениям обучающегося при формировании рекомендаций по выбору онлайн-курсов. В главе 3 разработаны архитектура системы поддержки выдачи рекомендаций (СПВР), методика и алгоритм формирования индивидуальной траектории обучения, онтологическая модель СПВР для оптимизации структуры индивидуальной траектории электронного обучения.

Выводы по первой главе

Переход к онлайн-обучению повлек за собой:

а) Необходимость использования МООК как инструмента персонализации электронного обучения.

б) Необходимость учета критериев, характеризующих формирование индивидуальной траектории электронного обучения, в которой приходится принимать решения.

в) Расширение круга показателей, характеризующих эффективность работы систем по выдаче рекомендаций.

г) Необходимость формирования индивидуальной траектории электронного обучения.

д) Необходимость разработки СПВР по формированию индивидуальной траектории обучения и выбору онлайн-курсов.

В связи с вышеизложенным, в Главе 1 рассмотрены проблемы электронного обучения для МООК, также выявлены проблемы качества систем электронного обучения, проведен анализ методов и моделей формирования индивидуальной траектории обучения по выбору онлайн-курсов, разработана классификация систем электронного обучения, проанализированы преимущества и недостатки рекомендательных систем.

Глава 2 Моделирование процессов формирования индивидуальной траектории электронного обучения на основе массовых открытых онлайн-курсов

2.1 Модели оценки качества онлайн-курсов электронного обучения

Основной проблемой систем электронного обучения является недостаточная проработка методов, моделей и алгоритмов формирования учебных курсов.

Рассмотрим методы оценки качества онлайн-курсов с использованием многокритериального подхода к принятию решений.

Метод анализа иерархий (МАИ) [107]. Метод иерархий позволит проследить выбор наилучшего проектного решения, когда допустимые решения оцениваются по нескольким показателям одновременно. Недостатком данного метода является необходимость получения дополнительной информации от экспертов.

Постановка задачи. Пусть имеется множество вариантов решений (альтернатив): $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$. Каждая альтернатива оценивается некоторыми критериями: A_1, A_2, \dots, A_n .

Этапы применения анализа иерархий:

- а) Ранжирование критериев в порядке убывания по степени значимости.
- б) Парное сравнение критериев важности (элементов иерархии).

Формируется матрица парных сравнений (приоритетов). Используется девятибалльная шкала Саати для сравнения критериев важности.

в) Формирование матриц парных сравнений. В результате обработки матрицы парных сравнений находим нормализованный вектор приоритетов (НВП) оценки важности критериев по формуле 1:

$$\text{НВП} = \frac{a_i}{\sum a_i}, \quad (1)$$

г) Определяются глобальные приоритеты всех элементов задачи, представляющие собой обобщенные предпочтения этих элементов. Глобальный приоритет будет вычисляться по следующей формуле 2:

$$G_{F_i} = \sum_i^n L_{F_i} * K_{F_i}, \quad (2)$$

где L_{F_i} – нормализованный вектор приоритетов,

K_{F_i} – локальные приоритеты по различным критериям.

Разработанная иерархическая модель оценки качества курсов для дальнейшей оценки влияния множества факторов (рисунок 4).

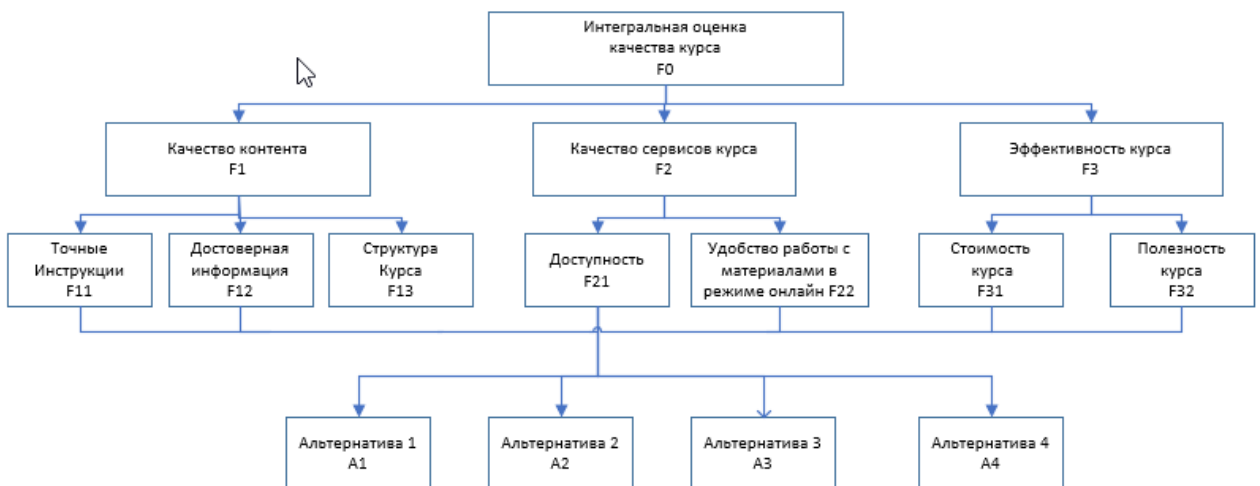


Рисунок 4 – Иерархическая модель оценки качества курсов

Источник: разработано автором

Также была разработана интегральная оценка качества онлайн-курса с разными приоритетами (рисунок 5).

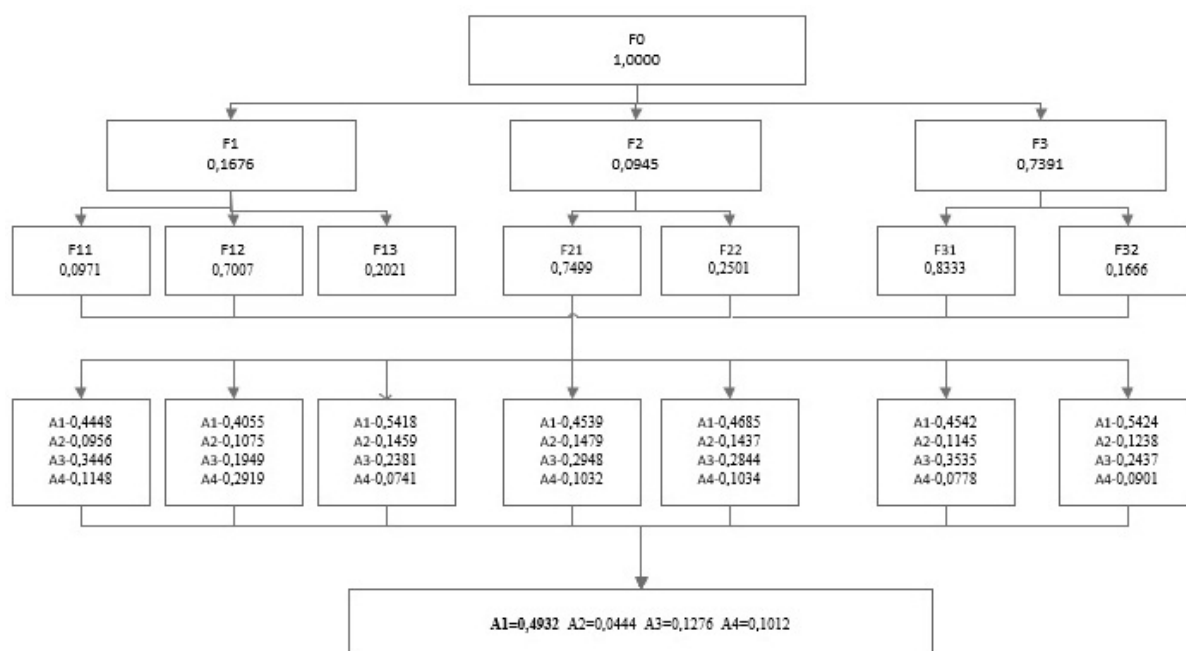


Рисунок 5 – Интегральная оценка качества курса с разными приоритетами для альтернатив

Источник: разработано автором

В результате расчетов получены оценки предпочтений альтернативных курсов по заданным критериям. Из данной схемы видно, что A_1 – наилучший онлайн-курс, который можно рекомендовать обучающемуся.

Метод Кемени. Рассмотрим многокритериальную задачу выбора онлайн-курса с четырьмя критериями методом Кемени.

Существует набор из $n=5$ альтернатив выбора онлайн-курса $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$ и $m=5$ критериев, а именно: стоимость обучающего курса (f_1), уровень подготовки к данному курсу (f_2), содержание курса (f_3), длительность данного курса (f_4). Представим задачу наилучшего выбора курса как многокритериальную задачу.

В результате экспертизы курсов были получены оценки экспертов в разрезе выделенных критериев, представленных в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты экспертизы учебных курсов

Альтернатива	Критерии			
	f_1	f_2	f_3	f_4
A_1	4	3	4	2
A_2	3	5	4	4
A_3	5	3	4	2
A_4	5	3	3	2
A_5	2	3	3	4

Источник: разработано автором

Для определения относительной важности критериев использовались экспертные оценки. Экспертами указаны следующие индивидуальные ранжирования (таблица 2).

Обобщенная ранжировка критериев может быть представлена в виде: $f_4 < f_3 < f_1 < f_2$.

Результирующие ранжировки по каждому критерию имеют следующий вид: $A_{f_1} = \{A_4, A_3, A_1, A_2, A_5\}$, $A_{f_3} = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$, $A_{f_4} = \{A_2, A_5, A_4, A_3, A_1\}$.

Используем алгоритм на основе медианы Кемени, который можно представить в следующем виде [13].

а) Ранжирование A^N , такое что $N(A^1, \dots, A^k) = \operatorname{argmin} d(A, A(k))$ называется медианой множества (A^1, \dots, A^k) . Иначе, это такое ранжирование, которое по расстоянию является «самым близким» ко всем ранжированиям множества ранжировок $\{A(k)\}$. Расстояние (4) рассчитывается через r_{ij} (коэффициенты потерь), а матрица $R^n = [r_{ij}]$ – матрица потерь, A_x – ранжирование, у которого $a_{ij}x = a_{ij} \rightarrow \max$.

Представим результирующее ранжирование в виде квадратных матриц отношений, учтем порядок предпочтений n альтернатив, представленных k -м экспертом. Для такого порядка предпочтения используется следующая матрица попарных сравнений:

$$A_k = \begin{pmatrix} a_1^k & \cdots & a_{11}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^k & \cdots & a_{nm}^k \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$\text{где } a_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{при } A_i > A_j \\ 0, & \text{при } A_i = A_j \\ -1, & \text{при } A_i < A_j. \end{cases}$$

В формуле (3) A_k – альтернатива по n -му эксперту.

Результаты получившихся матриц путем попарного сравнения (4) – (7):

$$A_{f1} = \begin{pmatrix} A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 \\ A_1 0 1 -1 -1 1 \\ A_2 -1 0 -1 -1 -1 \\ A_3 1 1 0 -1 -1 \\ A_4 1 1 1 0 1 \\ A_5 1 1 1 -1 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$A_{f2} = \begin{pmatrix} A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 \\ A_1 0 -1 1 -1 1 \\ A_2 1 0 1 1 1 \\ A_3 -1 -1 0 -1 1 \\ A_4 1 -1 -1 0 1 \\ A_5 -1 -1 -1 -1 0 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$A_{f3} = \begin{pmatrix} A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 \\ A_1 0 1 1 1 1 \\ A_2 -1 0 1 1 1 \\ A_3 -1 -1 0 1 1 \\ A_4 -1 -1 -1 0 1 \\ A_5 -1 -1 -1 -1 0 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$A_{f4} = \begin{pmatrix} A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 \\ A_1 0 -1 -1 -1 -1 \\ A_2 1 0 1 1 1 \\ A_3 1 -1 0 -1 -1 \\ A_4 1 -1 1 0 -1 \\ A_5 1 -1 1 1 0 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

б) Вычисляем матрицу потерь по формуле (8):

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^k a_{ij}^k - a_{ij}^p, \quad i, j = 1, \dots, n, \quad (8)$$

Положим $r_{ij} = 0$ для всех $i = j$. Для наших данных получаем матрицу потерь R по формуле (9):

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 10 & 12 & 14 & 8 \\ 10 & 0 & 4 & 4 & 4 \\ 8 & 16 & 0 & 14 & 12 \\ 6 & 16 & 8 & 0 & 8 \\ 8 & 16 & 8 & 0 & 8 \end{pmatrix}, \quad (9)$$

в) Определим матрицу рассогласованности Q^n по формуле (10):

$$Q^n = E^n R^n E^n \quad (10)$$

Для наших данных получаем матрицу (11):

$$Q^5 = \begin{pmatrix} 12_2 & 10_6 & 13_4 & 12_4 & 13_0 \\ 15_4 & 11_8 & 14_8 & 13_6 & 14_8 \\ 12_4 & 10_6 & 11_6 & 11_8 & 12_8 \\ 13_4 & 11_8 & 13_6 & 11_6 & 13_6 \\ 13_0 & 11_2 & 13_0 & 12_2 & 12_2 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

г) Определяем наименьший элемент q_{ij} , исключая элементы из главной диагонали матрицы Q^n , т. к. q_{ij} невозможно выбрать, продолжаем процесс, умножая матрицу Q^n на единичную матрицу.

В итоге матрица Q^1 примет окончательный вид:

$$Q^1 = \begin{pmatrix} 49_4 & 51_0 & 48_2 & 49_2 & 48_6 \\ 55_0 & 58_6 & 55_6 & 56_8 & 55_6 \\ 46_8 & 48_6 & 47_6 & 47_4 & 46_4 \\ 50_6 & 52_2 & 50_6 & 52_4 & 50_4 \\ 48_6 & 50_4 & 48_6 & 49_4 & 49_4 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

где $q_{ij\min} = q_{35} = 464$.

д) Строки и столбцы, относящиеся к альтернативам A_{ij} и A_{in} удаляются из матрицы R^n . Новая матрица – R^{n-2} . Для наших данных получаем $A_{f1} = \{A_5, \dots, A_3\}$. Пересчитываем матрицу R^{n-2} :

$$R^{n-2} = \begin{pmatrix} & A_1 & A_2 & A_4 \\ A_1 & 0 & 8 & 14 \\ A_2 & 10 & 0 & 4 \\ A_4 & 6 & 16 & 0 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

Тогда из формулы (14) матрица Q^{n-2} примет окончательный вид:

$$Q^3 = \begin{pmatrix} 6_4 & 5_8 & 4_6 \\ 5_0 & 6_8 & 5_8 \\ 5_8 & 5_0 & 6_0 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

Следовательно, располагаем альтернативы следующим образом $A = \{A_5, A_4, \dots, A_3, A_1\}$.

е) Если $n-2 = 0$ или $n-2 = 1$, то получаем конечную ранжировку альтернатив. В противном случае строки и столбцы, относящиеся к альтернативам A_{ij} и A_{in} , удаляются из матрицы R_n . И следовательно, шаги 3–6 повторяются до тех пор, пока не будет получена конечная сортировка. В данном примере $n-2 = 1$.

ж) Вывод результирующей ранжировки. Исходя из этой матрицы, искомая ранжировка альтернатив выглядит следующим образом:

$$A_5 > A_4 > A_2 > A_1 > A_3 \quad (15)$$

Из матрицы (16) видно, что A_5 – эффективное решение.

Метод Парето. Для определения относительной важности критериев использовались экспертные оценки. Экспертами указаны следующие индивидуальные ранжирования (таблица 2). Каждому эксперту предложили высказать свое предпочтение в отношении важности предложенных критериев путем их попарного сравнения. Для этого каждый эксперт присвоил числовые ранги каждому приведенному в анкете критерию. При этом ранг, равный единице, присваивается наиболее важному, по мнению эксперта, фактору. Получившиеся в результате расчета весовые коэффициенты для критериев: $w_{f1} = 0,24; w_{f2} = 0,18; w_{f3} = 0,28$.

Пусть множество X состоит из нескольких учебных курсов, а критериями оптимальности служат стоимость обучения курса f_1 , уровень подготовки к данному курсу f_2 , содержание курса f_3 , длительность данного курса f_4 . Для оценки всех критериев была использована пятибалльная шкала. Первый и четвертый критерии желательно минимизировать, вместо них введем и будем использовать $f_1^* = 5 - f_1$ и $f_4^* = 5 - f_4$. ЛПР – это человек, который производит выбор. Выбранным является решение, которое наиболее полно удовлетворяет желаниям ЛПР. Воспользуемся алгоритмом нахождения множества Парето.

Число критериев $m = 4$. Обозначим множество из пяти онлайн-курсов через $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$, в результате экспертизы курсов были получены оценки экспертов в разрезе выделенных критериев, представленных в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты экспертизы учебных курсов

Эксперты	Критерии			
	f_1	f_2	f_3	f_4
y_1	4	3	4	2
y_2	3	5	4	4
y_3	5	3	4	2
y_4	5	3	3	2
y_5	2	3	3	4

Источник: разработано автором

Сравним вектор y_2 с векторами y_3, y_4, y_5 . Пара $y_2, y_3; y_2, y_4$ несравнима по отношению \geq . Поскольку $y_2 \geq y_5$, то вектор y_5 удаляем из множества $P(Y)$. Теперь сравниваем вектор y_3 . Пара $y_2 \geq y_4$, то вектор y_4 удаляем из множества $P(Y)$.

Так как векторы y_5, y_4 были удалены как доминирующие, то для сравнения его мы не используем. Следовательно, $P(Y) = \{y_1, y_2, y_3\}$.

Из указанных трех курсов (первого, второго и третьего) мы и будем осуществлять окончательный выбор. Для дальнейшего ранжирования альтернатив

можно использовать разные экспертные методы. Используем метод сумм рангов [102]. Проведя опрос экспертов, мы получили результаты, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты экспертов

Эксперты	Стоимость курса (f_1)	Уровень подготовки к данному курсу (f_2)	Содержание курса (f_3)	Длительность данного курса (f_4)
Эксперт 1	3	2	1	4
Эксперт 2	2	3	4	1
Эксперт 3	1	2	3	4
Эксперт 4	4	1	3	2
Эксперт 5	2	1	3	4
$\sum (f_j)$	12	9	14	15
w	0,24	0,18	0,28	0,3

Источник: разработано автором

Тогда обобщенная ранжировка может быть представлена в следующем виде:
 $f_4 > f_3 > f_1 > f_2$.

Каждая из альтернатив, обладающая набором свойств $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4\}$, после ранжирования (таблица 2) была расположена в следующем порядке: $F = \{f_4, f_3, f_1, f_2\}$.

Отсюда следует, что f_4 – самый важный критерий. Следовательно, наилучшим учебным курсом из $P(Y) = \{y_1, y_2, y_3\}$ является y_2 .

Недостатком рассмотренных методов принятия решений является их статичность и вычислительная сложность.

2.2 Моделирование функциональной полноты MOOK-платформ

Электронное обучение определяется как интерактивное обучение, в котором учебный контент доступен онлайн. В центре внимания электронного обучения, как правило, система, которая управляет онлайн-обучением. Поэтому наличие функциональных операций в системе управления обучением играет ключевую роль. Мобильное обучение, синхронное обучение, асинхронное обучение, социальное обучение, AR-обучение, VR-обучение, микрообучение, геймификация, наличие искусственного интеллекта, персонализированное развитие навыков, формирование индивидуальной траектории обучения, одностраничная архитектура, учебный мультипортал, соответствие SCORM (Sharable Content Object Reference Model). Данные функции могут быть определены как функциональная полнота сложных систем. Появление новых веб-сервисов и онлайн-инструментов совместной работы позволяют удовлетворять постоянно растущие потребности той или иной организации.

Система управления онлайн-обучением (Learning Management System, LMS) или MOOK-платформа – это стратегическое решение высокого уровня для планирования, предоставления и управления всеми учебными мероприятиями в учебном заведении, включая онлайн, виртуальные классы и курсы под руководством преподавателя. Согласно [103] LMS-системы можно также назвать «Обучающие платформы», «Распределённые системы обучения», «Системы управления курсами», «Порталы» и «Системы управления обучением». В центре внимания LMS находится управление обучающимися, отслеживание их прогресса и эффективности во всех видах учебной деятельности. Система онлайн-обучения формирует связь между студентом и преподавателем, которая способствует более успешному закреплению знаний [36].

Чем больше университетов и организаций переходят на электронное обучение, либо переходят на более ранние версии системы, тем неизбежнее они

сталкиваются с трудным выбором. При выборе MOOK-платформы специалисты по обучению систем управления должны выбирать среди широкого спектра систем, которые сформируют основу их инфраструктуры онлайн-обучения. Это основное обязательство. Это большие, сложные программные решения, которые развиваются очень быстро, они дорогие и они очень заметны для учебной организации.

Как правило, MOOK-платформа содержит разные компоненты или модули. Модуль управления курсами предоставляет возможности для добавления новых курсов, управления или обновления существующих курсов, назначения преподавателей на курсы и других деталей, связанных с курсами. Модуль управления студентами содержит набор студентов, регистрацию студентов на обычные и факультативные курсы. Это очень важный модуль для того, чтобы другие модули работали правильно и точно. Модуль онлайн-экзамена обычно используется для автоматизации процесса оценки учащихся и очень полезен для учителя, поскольку экономит много времени. Поскольку в этом модуле не требуется вмешательства человека, он обеспечивает 100-процентную точность. В модуле онлайн-оценивания студент может загрузить задание в электронном виде, поэтому нет необходимости отправлять его на бумаге. Следовательно, это экономит много бумаг. Преподаватель может загружать уроки, видео и другие полезные материалы, используя модуль управления материалами онлайн-курса. Используя этот модуль, студент может просматривать и загружать эти материалы для изучения. В модуле управления обратной связью учащиеся могут оставлять отзывы по каждому предмету и учителям, и только уполномоченное лицо может просматривать отзывы. Это очень полезный модуль для оценки учителей. Он обеспечивает быстрый и эффективный вывод по сравнению с ручной системой обратной связи.

Существуют определенные системы MOOK-платформы, основанные на облачных [104] байесовских сетях [105], онтологии [106, 108], искусственном интеллекте [110], мультиагентности; нечетких знаниях [111]. Система LMS на

основе электронного обучения может быть полезна в управлении проектами или в управлении контентом.

Программный пакет под названием «Система управления онлайн-обучением» позволяет управлять и доставлять учебный контент и ресурсы для обучающихся. Большинство популярных систем имеют веб-интерфейс для облегчения доступа к обучению в любое время и в любом месте, содержание и администрирование. Каждая система управления обучением позволяет, по крайней мере для обучающегося, зарегистрироваться, доставить и отследить онлайн-курсы и контент, а также пройти тестирование. Однако в более хорошо разработанных и комплексных системах, можно найти такие функции, как сертификация, распределение ресурсов, одностраничная архитектура, построение индивидуальной траектории, автономный доступ, наличие модели распределенного контента.

Система управления обучением (LMS) или MOOK-платформа используется для определения широкого спектра систем организации и предоставления доступа к онлайн – учебным услугам для обучающихся, преподавателей и администраторов. Эти услуги обычно включают в себя контроль доступа, предоставление учебного контента, средства коммуникации и администрирование групп пользователей.

Наиболее популярными и широко используемыми сегодня системами управления обучением (MOOK-платформы) являются: Moodle, uQualio, Corsera, Adobe Captivate Prime, Canvas и другие менее известные, но по функциональной полноте им не уступающие: iSpring Learn, LearnUpon, Docebo, Litmos, Talent, Scholar LMS, Stepik, Openedu, GetCourse, FutureLearn, Универсариум, We.Study, Mirapolis, Интуит.

Выберем такие системы управления онлайн-обучением (MOOK-платформы), которые максимально соответствуют предъявляемым программным требованиям и на основе полученных рекомендаций позволяют выбрать наиболее подходящий вариант системы управления онлайн-обучением с учетом предпочтений пользователя.

Для сравнения систем управления электронного обучения (МООК-платформ) и выбора наилучшей системы использовался метод сравнительного анализа сложных систем по критерию функциональной полноты проф. Г. Н. Хубаева [36]. Данный метод применялся в три этапа для формирования новой исходной матрицы систем управления онлайн-обучением с наличием уникальных функций. На первом этапе заполняется матрица систем онлайн-обучения и матрица функций. Далее формируется исходная матрица – X, элементы которой определяются следующим образом:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & f_j = S_i, \\ 0, & f_j \neq S_i. \end{cases} \quad (16)$$

В формуле (17) $IS = \{IS_i\}, (i = \overline{1, n})$ множество анализируемых систем управления электронным обучением. Множество, составляющее матрицу функций, которые реализуются системами онлайн-обучения, обозначим $F = \{F_j\}, (j = \overline{1, n})$. Общее количество выделенных функций (таблица 2) для систем онлайн обучения составило – 50, т. е. $j = 50$.

Системы IS_i и IS_k :

— $P_{ik}^{13} = IS_i \cap IS_k$ – мощность пересечения систем относительно автоматизируемых функций [104];

— $P_{ik}^{01} = IS_k / IS_i, P_{ki}^{11} = IS_i / IS_k$ – мощность разности соответствующих множеств. В качестве меры рассогласования между системами IS_i и IS_k выберем величину S_{ik} .

— $R_{ik} = P_{ik}^{01} / (P_{ik}^{13} + P_{ik}^{12})$ применяется для оценки степени поглощения системой IS_k системы IS_i - величину $H_{ik} A_{ik} = P_{ik}^{13} / (P_{ik}^{13} + P_{ik}^{12})$ [36];

С помощью исходных элементов строятся матрица рассогласования систем, матрица поглощения и мера подобия Жаккарда соответственно:

$$S_{ik} = \frac{P_{ik}^{01}}{P_{ik}^{13} + P_{ik}^{12}}, \quad (17)$$

По формуле (18) S_{ik} находим меру рассогласованности систем. Степень поглощения и меру подобия Жаккарда находим по формулам (18) – (19).

$$H_{ik} = \frac{p_{ik}^{13}}{p_{ik}^{13} + p_{ik}^{12}}, \quad (18)$$

$$G_{ik} = \frac{p_{ik}^{13}}{p_{ik}^{00}}, \quad (19)$$

На основе матриц (20) – (22) можно построить логические матрицы превосходства $P_0 = \|p_{ik}^0\|$, подобия $H_0 = \|h_{ik}^0\|$, поглощения $G_0 = \|g_{ik}^0\|$. Вычисление элементов матрицы P_0, H_0, G_0 :

$$p_{ik}^0 = \begin{cases} 1, & \text{если } (p_{ik} \leq \varepsilon_p) \wedge i \neq k; \\ 0, & \text{если } (p_{ik} > \varepsilon_p) \vee i = k. \end{cases} \quad (20)$$

$$h_{ik}^0 = \begin{cases} 1, & \text{если } (h_{ik} \leq \varepsilon_h) \wedge i \neq k; \\ 0, & \text{если } (h_{ik} > \varepsilon_h) \vee i = k. \end{cases} \quad (21)$$

$$g_{ik}^0 = \begin{cases} 1, & \text{если } (g_{ik} \leq \varepsilon_g) \wedge i \neq k; \\ 0, & \text{если } (g_{ik} > \varepsilon_g) \vee i = k. \end{cases} \quad (22)$$

Для формул (20) – (22) пороговые значения $\varepsilon_p, \varepsilon_h, \varepsilon_g$ соответственно. Вторым этапом является включение в расчеты перечня обязательных функций. Далее определяется, какие из систем управления электронным обучением наиболее полно соответствуют требованию по наличию обязательных.

В соответствии с методикой, для оценки подобия изучаемых систем управления онлайн-обучением применяется мера подобия Жаккарда G_{ij} , на основании которой выявляется степень подобия систем L_k и L . $G = \|g_{ik}\|$ – матрица подобия СУО, где элементы матрицы g_{ik} представляют собой относительную взаимосвязь систем онлайн-обучения. Далее формируем новую матрицу и делаем расчёт по ней всех матриц.

В таблицах 6 и 7 приведены наименования анализируемых систем управления онлайн-обучением и состав функций систем управления онлайн-обучением соответственно.

Таблица 6 – Перечень исследуемых систем управления онлайн обучением

Код	Название системы
IS1	Adobe Captivate Prime
IS2	LearnUpon
IS3	Stepik
IS4	Moodle
IS5	Talent
IS6	Scholar LMS
IS7	360Learning LMS
IS8	uQualio
IS9	Upside LMS
IS10	Corsera
IS11	Canvas
IS12	Moodle
IS13	iSpring Learn

Источник: разработано автором

Таблица 7 – Состав функций систем управления онлайн-обучением

Код	Название функции
F1	Мобильное обучение
F2	Синхронное обучение
F3	Асинхронное обучение
F4	Смешанное обучение
Код	Название функции
F5	Социальное обучение
F6	Иммерсивное обучение AR / VR
Код	Название функции
F7	Микрообучение
F8	Геймификация
F9	Интеграция с социальными сетями
F31	Поддержка сертификации

Код	Название функции
F32	Таможенная сертификация
F33	Автономная регистрация
F34	Распределение ролей
F35	«Проверь себя» Student Quiz
Код	Название функции
F36	Посещаемость
F37	Уведомления о ресурсах
F38	Экспорт/Импорт вопросов
F47	Клонирование курсов
F48	Персонализированный обмен файлами
F49	Мгновенное восстановление случайно удаленных курсов Undelete
F50	Модель распределенного контента

Источник: разработано автором

В таблице 8 представлена исходная матрица X.

Таблица 8 – Фрагмент начальных элементов матрицы

Код	Системы												
	IS1	IS2	IS3	IS4	IS5	IS6	IS7	IS8	IS9	IS10	IS11	IS12	IS13
F1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
F2	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
F3	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
F4	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
F5	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1
F6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
F7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
F8	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
F9	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1
F10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1

Код	Системы												
	IS1	IS2	IS3	IS4	IS5	IS6	IS7	IS8	IS9	IS10	IS11	IS12	IS13
F11	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
F12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
F50	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1

Источник: разработано автором

Абсолютную оценку функционального превосходства системы управления электронного обучения над другими представлена в виде матрицы $p_{ik}^{13} = \|p_{ik}^{13}\|$. Полученные данные представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Матрица оценки функционального превосходства одной системы управления онлайн-обучением над другой

Код	Системы												
	is1	is2	is3	is4	is5	is6	is7	is8	is9	is10	is11	is12	is13
is1	0	3	4	1	7	6	5	2	10	7	2	10	0
is2	11	0	7	3	6	5	9	3	9	10	4	15	2
is3	9	4	0	2	7	5	8	3	11	8	3	12	3
is4	15	9	11	0	11	12	12	4	11	14	9	19	3
is5	19	10	14	9	0	12	13	5	10	14	9	19	7
is6	16	7	10	8	10	0	12	6	11	12	7	17	5
is7	13	9	11	6	9	10	0	6	11	12	6	13	1
is8	20	13	16	8	11	14	16	0	15	18	12	25	5
is9	18	9	14	5	6	9	11	5	0	13	10	16	5
is10	9	4	5	2	4	4	6	2	7	0	3	10	2
is11	13	7	9	6	8	8	9	5	13	12	0	16	2
is12	7	4	4	2	4	4	2	4	5	5	2	0	0
is13	19	13	17	8	14	14	12	6	16	19	10	22	0

Источник: разработано автором

Из таблицы 9 видно, что отличия систем электронного обучения uQualio и iSpring Learn объясняется тем, что системы uQualio и iSpring Learn изначально создавались для онлайн-школ и корпоративных университетов, что позволило дополнить их набором уникальных функций, таких как микрообучение, что позволяет изучать небольшой по объему материал за короткий промежуток времени, или персонализированное развитие навыков, позволяющее расширять возможности формирования индивидуальной траектории обучения.

Таблица 10 показывает достаточно высокую степень взаимного поглощения систем управления онлайн обучением, что свидетельствует о наличии пересечения множеств функций у разных систем онлайн обучения. Матрицы Н0 и Р0 представлены в приложении А.

Таблица 10 – Матрица поглощения систем управления онлайн-обучением

Код	Системы												
	is1	is2	is3	is4	is5	is6	is7	is8	is9	is10	is11	is12	is13
is1	1,00	0,10	0,18	0,04	0,21	0,27	0,12	0,69	0,44	0,21	0,7	0,34	0
is2	0,54	1,00	0,33	0,14	0,25	0,28	0,49	0,13	0,49	0,46	0,19	0,71	0,09
is3	0,35	0,16	1,00	0,03	0,29	0,28	0,33	0,15	0,08	0,33	0,12	0,5	0,12
is4	1,00	0,6	0,73	1,00	0,73	0,8	0,8	0,26	0,73	0,93	0,6	1,26	0,2
is5	1,18	0,58	0,84	0,59	1,00	0,75	0,75	0,29	0,58	0,82	0,52	1,11	0,41
is6	0,82	0,38	0,26	0,41	0,52	1,00	0,62	0,31	0,59	0,62	0,37	0,89	0,26
is7	0,61	0,42	0,54	0,25	0,49	0,46	1,00	0,26	0,52	0,51	0,27	0,62	0,05
is8	1,88	1,18	1,45	0,77	1,00	1,22	1,54	1,00	1,36	1,66	1,09	2,27	0,45
is9	0,85	0,48	0,66	0,28	0,25	0,48	0,53	0,28	1,00	0,69	0,47	0,76	0,23
is10	0,33	0,18	0,15	0,04	0,18	0,18	0,22	0,07	0,29	1,00	0,11	0,37	0,07
is11	0,72	0,38	0,5	0,33	0,44	0,44	0,5	0,27	0,72	0,66	1,00	0,88	0,11
is12	0,28	0,12	0,25	0,03	0,15	0,15	0,02	0,15	0,16	0,16	0,06	1,00	0,00
is13	1,90	1,30	1,70	0,80	1,40	1,40	1,20	0,60	1,60	1,90	1,00	2,20	1,00

Источник: разработано автором

На основе логических матриц P , H , G строятся графы подобия и поглощения, представленные на рисунках 6 и 7.

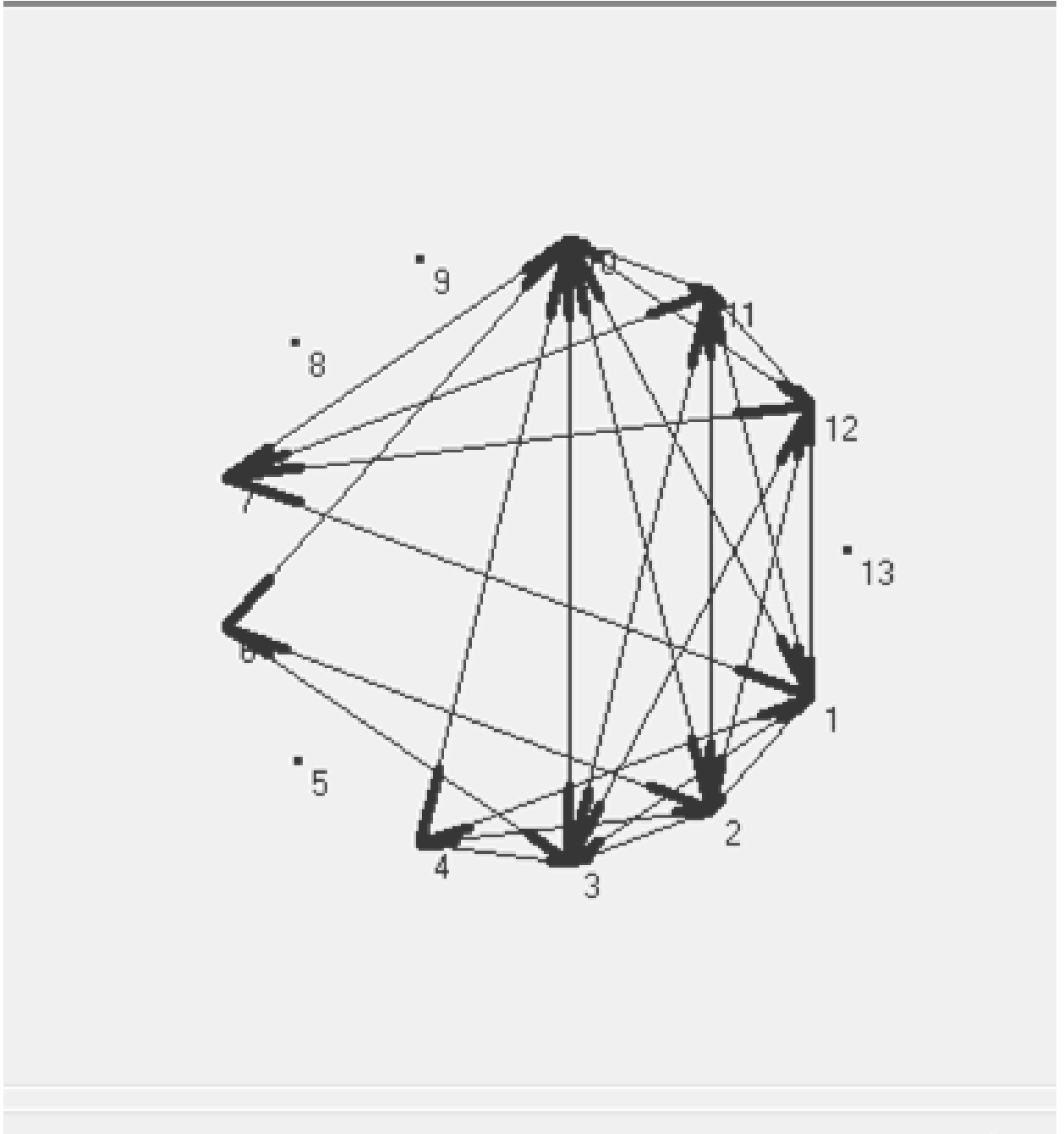


Рисунок 6 – Граф подобия систем управления онлайн-обучением
(IS1-IS13)

Источник: разработано автором

Граф подобия показывает группы однородных информационных систем (IS2, IS3), (IS3, IS11), (IS12, IS4, IS6). Это определено наличием большого числа одинаковых функций.

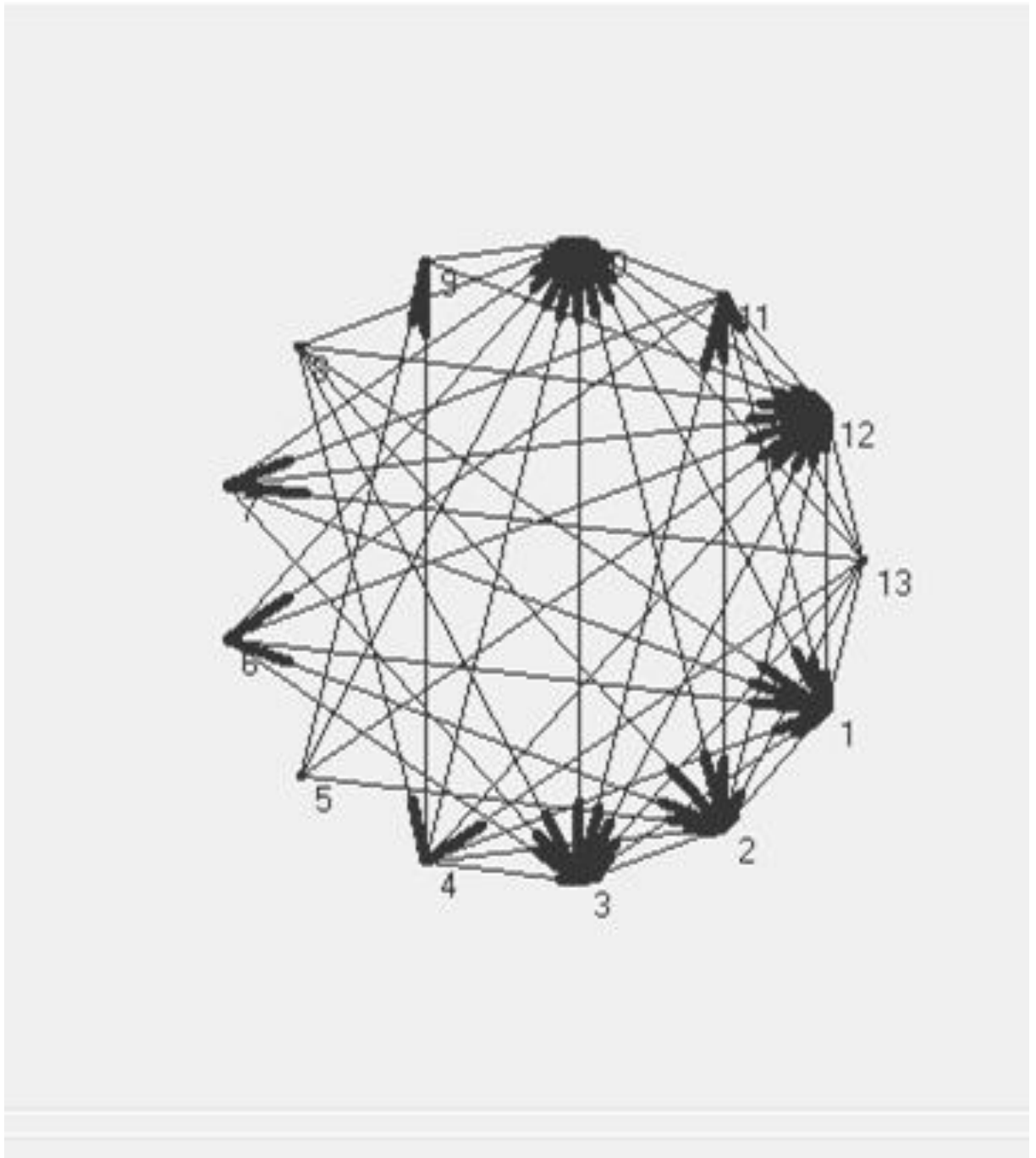


Рисунок 7 — Граф поглощения систем управления онлайн обучением (IS1-IS13)

Источник: разработано автором

Граф поглощения систем управления онлайн-обучением показывает, что полученные системы их сравнения имеют превосходство IS5, IS8 и IS13 над остальными. Это указывает на наличие уникальных функций систем управления электронным обучением и реализацией достаточно большого количества функций, необходимых для автоматизации LMS. Следовательно, Talent, uQualio, iSpring Learn отличаются наличием уникальных функций.

Относительно сравнительного анализа между системами электронного обучения можно сделать вывод: все системы сложны и в первую очередь зависят от требований и направленности учебного заведения. Но по результатам исследования была выявлена система IS13, которая в идеале соответствует функциям системы управления онлайн-обучением, главная из которых – формирование индивидуальной траектории обучения. LMS используется во многих высших учебных заведениях из-за высокого спроса на онлайн-курсы. LMS также используется учреждениями для улучшения онлайн-курсов. Система онлайн-обучения предоставляет инструменты для организации контента, студентов, оценок, инструментов для создания дискуссионных групп, онлайн-викторин и экзаменов.

Анализ функциональной полноты позволил выделить группы систем электронного обучения S1 – S13 : (S2, S3), (S4, S6), (S11, S12) со сходным набором функций. Выделенные группы систем классифицируются по следующему наличию главных функций:

- мобильное обучение;
- синхронное обучение;
- геймификация;
- соответствие scorm;
- оценка онлайн-курсов;
- управление онлайн-курсом;
- создание пулов вопросов, формирование тестов, оценивание, формирование комментариев к вопросам (Student Quiz).

В итоге полноценная система управления онлайн-обучением оптимально должна:

- быстро собирать и доставлять учебный контент на нескольких языках;
- измерять эффективность учебных курсов;
- использовать смешанное обучение;
- поддерживать интеграцию с другими решениями для приложений;
- централизовать и автоматизировать администрирование;
- поддерживать мобильность и стандарты: aicc, ims и scorm;
- персонализировать контент и возможность повторного использования знаний;
- формировать индивидуальные пути обучения.

Относительно сравнительного анализа между системами онлайн-обучения можно сделать вывод: все системы сложны и в первую очередь зависят от требований и направленности учебного заведения.

2.3 Нечеткая модель и алгоритм оценки качества онлайн-курсов при формировании индивидуальной траектории электронного обучения

Электронное обучение в современном обществе стало неотъемлемой частью профессионального развития, поскольку открывает новые возможности для обмена знаниями, изменяя традиционный подход к преподаванию и обучению. Этот метод удешевляет обучение и обеспечивает каждому студенту свободу доступа к информации и гибкость в процессе обучения.

Система электронного обучения предоставляет решение для агрегации образовательного контента и услуг для представления конечному пользователю в требуемом виде. Студент самостоятельно определяет продолжительность и

последовательность занятий, меняя траекторию процесса обучения в соответствии со своими потребностями. Многие образовательные веб-сайты позволяют учащимся получать образование с помощью технологий электронного обучения [115]. Качество учебного процесса определяется типом системы управления обучением, а также качеством онлайн-курсов. Понимание и измерение качества образовательных онлайн-курсов, включая его параметры, становится критически важным для разработки, управления и постоянного совершенствования системы электронного обучения. В результате возникает проблема разработки эффективных методов оценки образовательных онлайн-курсов. Качество онлайн-курсов очень важно для обеспечения удовлетворенности клиентов. Поэтому моделирование рекомендательной системы электронного обучения на основе анализа учебных ресурсов и восприятия пользователей становится особенно актуальным. В последние годы значительно увеличилось количество образовательных ресурсов, доступных онлайн благодаря массовым открытым онлайн-курсам (МООК) и системам управления обучением (LMS). МООК предоставляют учащимся доступ к тысячам онлайн-курсов.

Традиционная система выбора курсов отнимает много времени, так как учащиеся тратят много времени на поиск курсов учебной программы. Драхслер и др. провели всесторонний обзор и анализ рекомендательных систем в технологии расширенного обучения (TEL) [116].

Билецкий предложил подход к персонализированному поиску объектов обучения в Интернете, который предлагает сравнение профиля учащегося (пользователя) и описаний объектов обучения [53]. Предлагаются онтологические модели учащегося и объектов обучения, а также методы определения предпочтений учащегося с использованием соответствующих онтологий. Для этого были выбраны критерии и методы оценки соответствия объектов обучения профилю учащегося.

Гульзар представил рекомендательную систему для помощи учащимся в выборе курсов в соответствии с их требованиями. Гибридная методология использовалась вместе с онтологией для извлечения полезной информации и

предоставления точных рекомендаций. Позже Гульзар разработал алгоритмы для персонализации курсов для ученых на основе их интересов, чтобы сделать обучение более продуктивным. Гибридная методология, основанная на онтологии и методе ближайшего соседства, использовалась для извлечения полезной информации и предоставления рекомендаций, которые помогут учащимся повысить свою успеваемость.

Ян предложил персонализированный алгоритм рекомендаций для ресурсов учебной программы, основанный на семантической веб-технологии с использованием онтологии предметной области. Алгоритм собирает интересующие ресурсы учебной программы на основе пользовательской оценки и поведения пользователей при просмотре. Сходство среди пользователей рассчитывается на основе сходства между основными понятиями. Сходство между учащимися рассчитывалось на основе их рейтингов по отношению к учебным ресурсам. Рекомендации давались исходя из категории интереса ближайшего соседства. Даскалу и др. (2016) предложили основанную на онтологии образовательную рекомендательную систему для применения в обучении на протяжении всей жизни.

Лю и Ши в 2007 году предложили анализ ассоциативных правил в качестве основы для своей рекомендательной системы. Система анализирует журналы, чтобы определить поведение учащегося в процессе обучения и ассоциации между содержанием учебного курса. Система использовала поведение предыдущих учащихся, чтобы рекомендовать содержание обучения. Метод интеллектуального анализа данных использовался для составления правил наилучшего пути обучения для каждой группы учащихся.

[14] разработали рекомендательную систему, основанную на недавних историях навигации учащихся, а также на сходствах и различиях содержания учебных материалов. Бусбахи, Фатиха и Чорфи, Хенда в 2015 предложили систему, которая рекомендует подходящие MOOK в ответ на конкретный запрос учащегося. Используя подход рассуждений, основанных на конкретных случаях (CBR),

система предлагает учащимся наиболее подходящие MOOK, соответствующие ее/его запросу, исходя из профиля, потребностей и знаний учащегося.

Разработана структура для оценки качества онлайн-курсов электронного обучения для оптимального выбора в СПВР. Моделирование проводилось для системы управления онлайн-обучением Moodle РГЭУ(РИНХ) [45]. С помощью экспертов был изучен ряд факторов, имеющих решающее значение для успеха процесса электронного обучения. Проанализированные показатели эффективности:

а) Показатели эффективности, связанные с поведением пользователя в процессе обучения (время, которое пользователь провел на каждой странице учебного ресурса; время, потраченное пользователем на поиск информации, количество кликов пользователя; количество страниц за одно посещение и т. д.).

б) Показатели эффективности, связанные с услугами курсов (посещаемость веб-сайта электронного обучения, количество системных ошибок, время загрузки, время отклика, количество сбоев и т. д.).

в) Лингвистические аспекты онлайн-курса (названия пунктов меню и названий полей соответствуют ожиданиям пользователя; возможность ввода точных данных; актуальность и полезность содержания курса и т. д.).

г) Анализ пользовательского интерфейса (расположение различных компонентов экрана, цвет и стиль учебных ресурсов, эффективность навигации, эффективность поиска, количество текста и графики на странице, организация диалога с пользователем, структура курса и т. д.).

В результате проведенного анализа предлагаются некоторые общие критерии для оценки качества курса электронного обучения в 3 измерениях. Для электронных курсов были определены следующие показатели качества [105]:

а) Качество содержания онлайн-курса, которое включает: точные и подробные инструкции, точную и достоверную информацию, структуру курса, актуальность материала, использование средств массовой информации, соответствие стандартам обучения, программу курса, удобство использования

(эстетические качества, дизайн интерфейса, правильно работающие ссылки, материалы и СМИ).

б) Качество услуг курса, включающее: доступность, персонализацию, взаимодействие, социальную поддержку, средства проверки знаний и подсчета оценок, поддержку учащихся, помощь студенту, обратную связь.

в) Преимущества, которые включают: практическую пользу от курса, удовлетворенность пользователя, степень понимания студентом, эффективность обучения, экономическую эффективность, академическую успеваемость.

Показатели определялись с помощью онлайн-анкетирования, рассылок или экспертных оценок курса. В результате анализа эффективности была разработана иерархическая структура модели качества электронного обучения (рисунок 8).

На рисунке 8 использованы следующие обозначения: F0 – интегральный показатель качества курса; F1 – качество содержания онлайн-курса, F11 – точные и подробные инструкции, F12 – точная и достоверная информация, F13 – структура курса, F14 – актуальность материала, F15 – использование средств массовой информации, F16 – соответствие стандартам обучения, F17 – программа курса, F171 – обзор требуемых результатов обучения, F172 – обзор всех материалов курса и структуры курса, F173 – обзор оценочной и практической деятельности, системы оценивания; F18 – юзабилити курса; F181 – эстетические качества; F182 – дизайн интерфейса; F183 – корректно работающие ссылки, материалы и медиа; F2 – качество курсовых услуг; F21 – доступность; F22 – персонализация; F23 – взаимодействие, социальная поддержка; F24 – средства проверки знаний и выставления оценок; F25 – поддержка учащихся; F251 – помощь студенту; F252 – обратная связь; F3 – преимущества; F31 – практическая польза от курса; F32 – удовлетворенность пользователей; F33 – степень понимания студентом; F34 – эффективность обучения; F35 – экономическая эффективность; F36 – успеваемость.

Типичный подход к процессу оценки качества предполагает, что эксперты-люди выражают свои оценочные суждения, используя числовые значения. Иногда эксперт не может выразить свои суждения точным числовым значением.

Следовательно, необходимо использовать более реалистичный подход для выражения экспертных оценок с помощью лингвистических оценок.

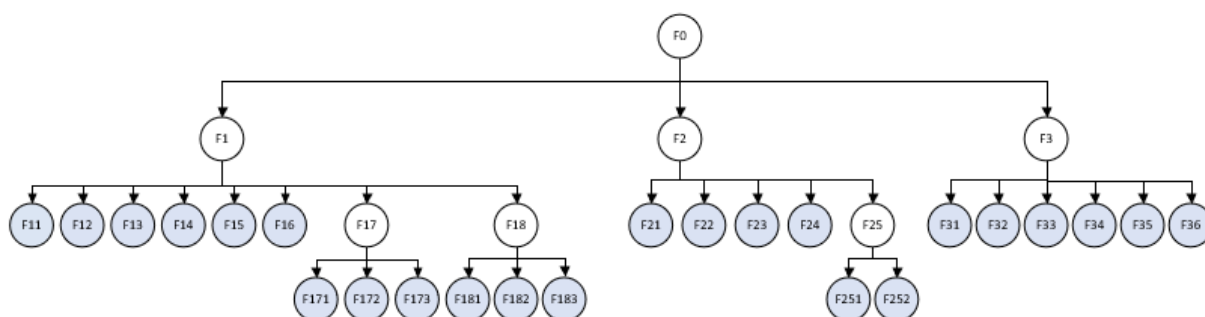


Рисунок 8 — Иерархическая структура модели качества электронного учебного курса

Источник: разработано автором

Предлагается новый подход к проблеме оценки качества электронных учебных курсов, которую мы определяем в терминах нечетких отношений предпочтения и лингвистических переменных [12].

Интегральное качество электронных курсов можно формализовать по формуле

$$FMG = \langle G, L, P, A \rangle, \quad (23)$$

где G – граф, каждая вершина которого $F_j (j=0, \dots, N_D)$ связана с лингвистической переменной $x_i^j \in L_j$, которая описывает конкретный показатель качества онлайн-курса;

$L = \{L_j (j=0, \dots, N_D)\}$ представляет собой набор лингвистических значений;

P – нечеткое отношение предпочтения;

A – оператор агрегации.

При использовании троичного нечеткого классификатора по шкале $[0,1]$ значения L_j должны быть следующими: {Низкий уровень (L), Средний уровень (M), Высокий уровень (H)}.

Нечеткие отношения предпочтения определяются по формуле

$$P = \{F_i(\varphi)F_j, \varphi \in (\succ, \approx)\}, \quad (24)$$

где \succ – строгие предпочтения,

\approx обозначает безразличие.

Для получения интегральной лингвистической оценки качества онлайн-курса мы используем оператор агрегации для каждой нетерминальной вершины графа. Агрегатор использует оценку показателей качества, представленных в виде дочерних узлов дерева. Коэффициенты Фишберна используются для приоритетности весов [12]. Коэффициенты Фишберна определяются по формуле

$$p_i = \frac{r_i}{\sum_{j=1}^N r_j} \quad i = \overline{1, N}, \quad (25)$$

где N – количество дочерних вершин графа, участвующих в агрегации;

r_i – отношения предпочтения [9].

По каждому показателю ($F_{k.1}, \dots, F_{k.N}$) в выбранном уровне графа k определяются лингвистические значения $L = (L_{k.1}, \dots, L_{k.N})$ и весовые коэффициенты $p_k = (p_{k.1}, \dots, p_{k.N})$, после чего оператор агрегирования представляет собой лингвистическую оценку принадлежности функции, определенной для 01-классификатора [10] по формуле

$$\mu_k(x) = \sum_{i=1}^N \mu_{k,i}(x) p_i, \quad i = \overline{1, 3}, \quad (26)$$

Вычисление функции принадлежности можно выполнить как операцию с вершинами графа как функции $\mu_k(x)$. Функция $\mu_k(x)$ используется для оценки лингвистического значения F_k – показателя [8]. Для троичного нечеткого 01-классификатора минимальное расстояние между критериями следует определять на основе минимального расстояния между $\mu_k(x)$ и $\mu_i(x)$, $i = \overline{1, 3}$ нечетким множеством, определяемым функцией принадлежности $\mu_k(x)$, и каждым из нечетких множеств с соответствующими функциями принадлежности $\mu_i(x)$, $i = \overline{1, 3}$ [10].

Для индикатора F_k , заданного трапециевидной функцией принадлежности с параметрами $(a_L^k, a_1^k, a_2^k, a_R^k)$ и функциями принадлежности $\mu_i(x)$, $i = \overline{1, 3}$, также

трапецеидальными с параметрами $(b_L^k, b_1^k, b_2^k, b_R^k)$, расстояние между нечеткими множествами вычисляется по формуле

$$p_{ki} = \max \{ [(a_L^k - b_L^k), [a_1^k - b_1^k], [a_2^k - b_2^k], [a_R^k - b_R^k]] \}, \quad (27)$$

Значение F_k соответствия определенного лингвистического уровня троичной шкалы по 01-классификатору определяется как $\min(p_{ki})$.

Для каждой неконечной вершины снизу вверх проводится процедура агрегирования показателей качества для получения лингвистического значения качества электронного учебного курса. Формирование интегрального показателя качества курса F_0 для графа G представляет собой агрегирование показателей качества для каждой из неконечных вершин графа от листьев до вершины.

Алгоритм комплексной оценки качества электронных курсов выглядит следующим образом.

- а) Сформировать граф G показателей качества курса.
- б) Сформировать систему отношений предпочтения между вершинами графа на основе предпочтений обучаемого.
- в) Для каждого показателя на графике установить лингвистическую переменную и определить ее значение, используя информацию от экспертов.
- г) Для неконечных вершин графа применить оператор агрегации для вычисления значений лингвистических переменных.

В результате система получает лингвистическую оценку (F_0) для корневой вершины графа критериев, которая характеризует интегральное качество электронного курса, а для других вершин – оценку определенной группы показателей, например, качество контента курса.

Ниже предлагается нечеткий лингвистический подход для оценки качества курса электронного обучения. Здесь мы рассматриваем иерархию показателей качества электронного курса, которую вы можете видеть на рисунке 8. Система предлагает обучаемому ранжировать критерии качества онлайн-курса. Например, мы получаем следующую систему предпочтений учащихся:

$F2 \succ F3 \succ F1$, $F11 \approx F12 \approx F13 \approx F16 \approx F18 \succ F15 \approx F17 \succ F14$, $F21 \approx F24 \succ F22 \succ F23 \approx F25$,
 $F32 \approx F33 \approx F35 \succ F31 \approx F34 \approx F36$, $F171 \succ F172 \succ F173$, $F183 \succ F182 \succ F181$, $F251 \succ F252$.

Предположим, что для заданной системы показателей качества электронного курса эксперты присвоили следующие лингвистические значения:

$F171 - M$; $F172 - M$; $F173 - L$; $F181 - L$; $F182 - M$; $F183 - M$; $F251 - L$; $F252 - M$;
 $F11 - H$; $F12 - H$; $F13 - H$; $F14 - M$; $F15 - M$; $F16 - H$; $F21 - M$; $F22 - M$; $F23 - L$;
 $F24 - M$; $F31 - H$; $F32 - M$; $F33 - L$; $F34 - H$; $F35 - M$; $F36 - M$.

В таблице 11 представлены результаты моделирования. Трапециевидная функция принадлежности использовалась для лингвистических переменных High (H), Medium (M) и (L).

Таблица 11 – Результаты моделирования

Критерий	Название индикатора	Значение лингвистических переменных	Трапециевидное число			
F0	Встроенный индикатор качества онлайн-курса	Средний	0.3034	0.5281	0.6844	0.8551
F1	Качество контента онлайн-курса	Средний	0.4475	0.6933	0.8317	0.9325
F2	Качество услуг курса	Средний	0.1250	0.3333	0.5167	0.7750
F3	Преимущества курса	Средний	0.2278	0.4222	0.5778	0.7833
F17	Структура курса	Средний	0.1250	0.3333	0.5167	0.7750
F18	Удобство использования курса	Средний	0.1500	0.4000	0.6000	0.8500
F25	Служба поддержки обучающегося	Низкий	0.0500	0.1333	0.2667	0.5500

Источник: разработано автором

Видно, что показатель качества «Структура курса» был оценен как «Н – низкий». Наряду с этим качество системы, качество сервиса, качество информации, а также интегральные показатели качества онлайн-курса были оценены на «М –

medium». Таким образом, нечеткий многокритериальный анализ качества электронного курса показывает достаточный уровень качества, и курс может быть рекомендован обучающемуся.

Таким образом, представлен нечеткий подход к оценке качества онлайн-курса электронного обучения. Представлена проблема оценки качества онлайн-курса с учетом требований обучающегося и результативности электронного курса. Оценка качества электронного учебного курса должна основываться на комплексном критерии качества. Интегрированный критерий качества включает в себя набор критериев, относящихся к содержанию и системным требованиям, а также к удовлетворенности пользователей онлайн-курса.

Предложенную структуру можно использовать для сравнения качества онлайн-курсов электронного обучения, определения приоритетов для улучшения онлайн-курсов и предоставления руководства при создании рекомендаций. Новый подход к оценке и отбору электронного курса предоставляет простой и удобный инструмент для обработки экспертной оценки показателей качества, касающихся эффективности онлайн-курса и предпочтений пользователей. Такой подход может быть полезен обучающимся для повышения их производительности и повышения уровня их удовлетворенности.

Для подтверждения эффективности электронного обучения производилась оценка по критерию экономической эффективности (F35) и по критерию эффективности обучения по результатам контрольных мероприятий (F34).

Алгоритм экономической эффективности электронного обучения (рисунок 9):

а) На первом этапе алгоритма производится калькуляция себестоимости онлайн- и офлайн-курсов, расчет описательной статистики для каждого формата обучения. Калькуляция себестоимости включает расчет оплаты труда преподавателей, административно-управленческого аппарата (АУП), социальные отчисления на фонд заработной платы, накладные расходы. Себестоимость курса зависит от количества часов обучения.

б) Подтверждение статистической значимости различий. Чтобы определить, каким тестом лучше всего воспользоваться, необходимо выяснить, подчиняются ли данные нормальному распределению с помощью наиболее мощных тестов: Колмогорова-Смирнова (с коррекцией уровня значимости по Лильефоре) и Шапиро-Уилка.

в) Если данные являются выборкой из нормальной распределенной совокупности ($p > 0,1$), то данные о себестоимостях можно считать распределенными нормально, что позволяет применить для сравнения t-тест равенства средних Стьюдента для независимых выборок. Метод позволяет проверить гипотезу о том, что средние значения двух генеральных совокупностей, из которых извлечены сравниваемые независимые выборки, отличаются друг от друга. Группы онлайн- и офлайн-курсов являются независимыми друг от друга. В противном случае данные не являются нормально распределенной выборкой – применение u-критерия Манна-Уитни, если распределение признака хотя бы в одной выборке существенно отличается от нормального и (или) дисперсии различаются статистически достоверно.

г) Вычисление себестоимости онлайн- и офлайн-курса. Если себестоимость онлайн-курса меньше себестоимости офлайн-курса, следовательно, онлайн-курс экономически выгоднее. В противном случае – офлайн.

Для алгоритма по критерию усвоенных знаний повторяются те же пункты, что и для экономической эффективности электронного обучения. Различен только четвертый пункт по сравнению баллов по отдельным видам контрольных мероприятий электронного обучения и офлайн-обучения (рисунок 10).

Для демонстрации экономической эффективности онлайн-курсов и для оценки влияния формата обучения на качество обучения, выраженное в баллах, набираемых обучающимися за разные учебные активности, были проведены статистический анализ данных и калькуляция себестоимости аналогичных курсов в онлайн- и офлайн-форматах в главе 3.

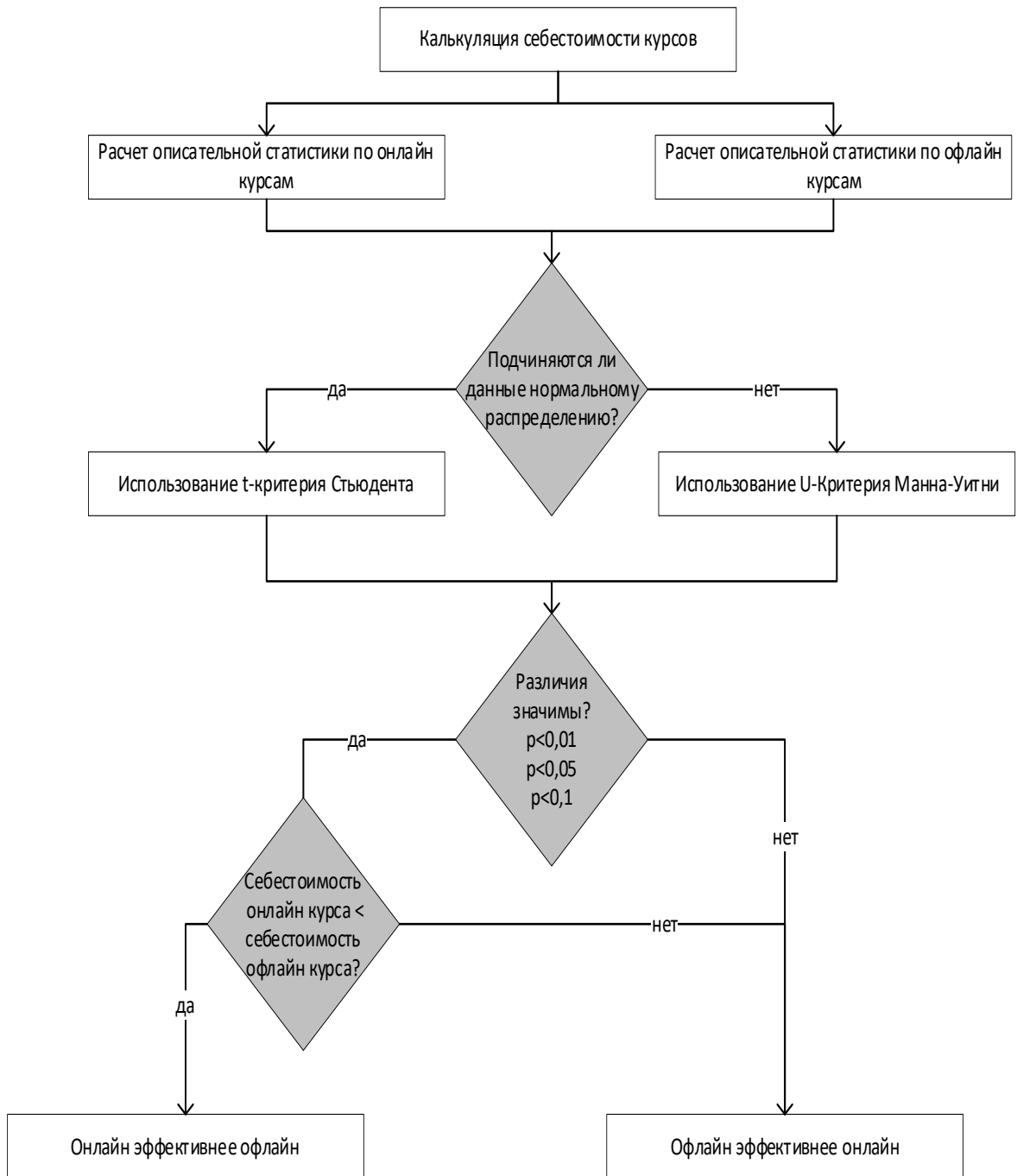


Рисунок 9 – Схема работы алгоритма оценки эффективности по критерию себестоимости

Источник: разработано автором

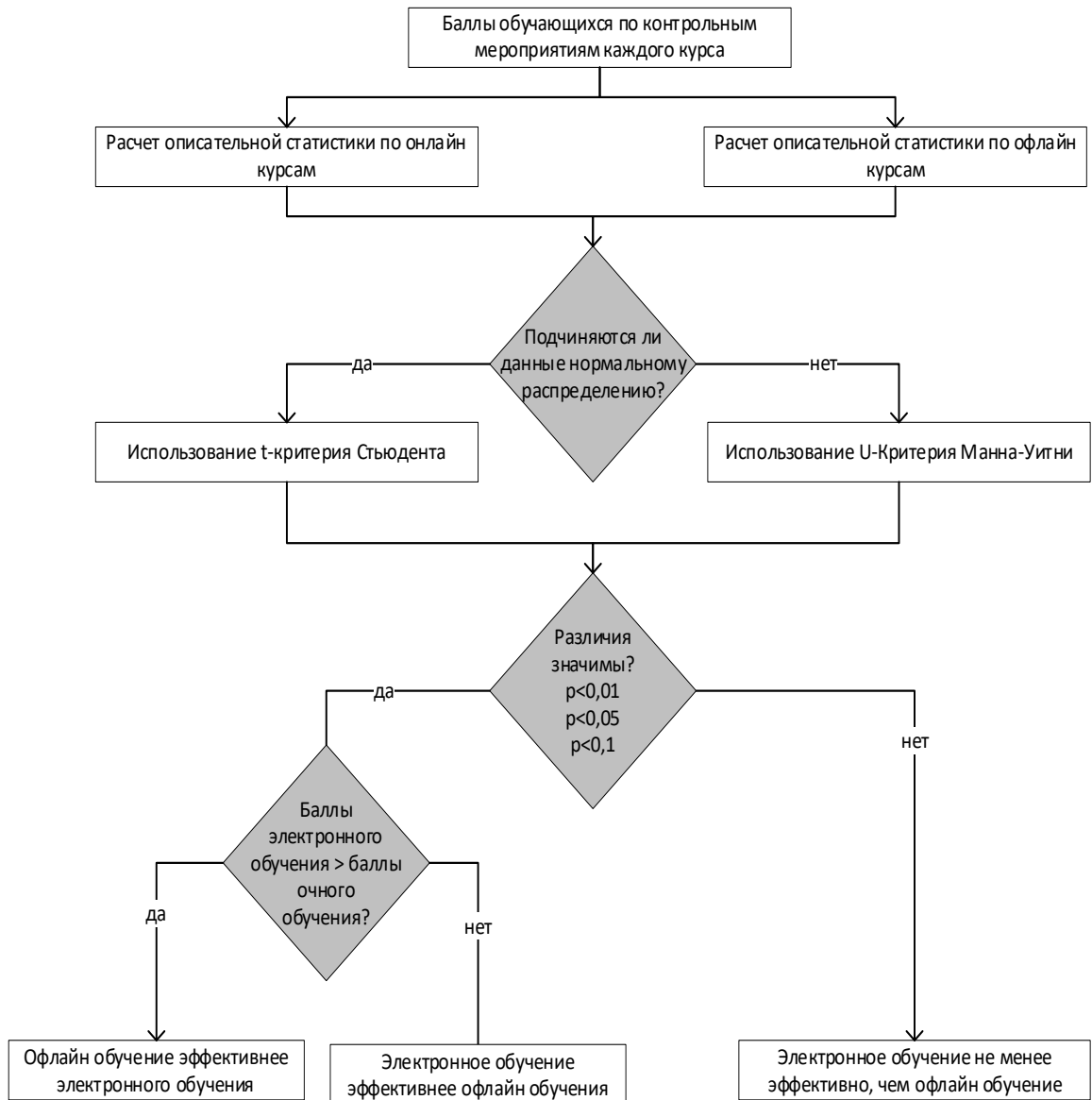


Рисунок 10 – Схема работы алгоритма оценки эффективности по критерию усвоенных знаний

Источник: разработано автором

2.4 Методика формирования индивидуальной траектории электронного обучения на основе массовых открытых онлайн-курсов по результатам кластерного анализа

Сравнительный анализ онлайн-курсов включает следующие задачи:

- а) Нормализация данных для расчета схожести объектов;
- б) Вычисление значения меры сходства между объектами с помощью Евклидова расстояния;
- в) Разбиение онлайн-курсов на однородные группы по нескольким признакам одновременно;
- г) Определение профилей кластеров получившихся групп и сравнение онлайн-курсов по таким предпочтениям пользователя, как стоимость, длительность, количество положительных отзывов, рейтинг, сложность онлайн-курса.

Исходными данными для анализа данных явились онлайн-курсы, взятые с агрегатора онлайн-курс [6]. Область знаний онлайн-курсов – аналитика. Данные выбраны на сайте Каталог курсов и получены путем преобразования данных в датасет. Всего рассматриваются 200 онлайн-курсов (таблица 12). Критерии онлайн-курсов представлены в таблице 13.

Таблица 12 – Перечень онлайн-курсов

Обозначение	Название курса
К1	Аналитик данных с нуля до middle
К2	Python для анализа данных
К3	Профессия Python для решения бизнес-задач
К4	Алгоритмы и структуры данных на Python. Базовый курс
К5	Курс «Python для анализа данных»
К6	Python для анализа данных

Обозначение	Название курса
K7	Основы Python с 0
K8	Библиотеки Python для Data Science: Numpy, Matplotlib, Scikit-learn
K9	Python для аналитики
K10	Python для анализа данных
K11	Excel и Google-таблицы: от новичка до эксперта
K12	Мастер веб-аналитики
K13	Бизнес-аналитик
K14	Курс «Аналитик данных»
...	...
K200	Математика для анализа данных

Источник: разработано автором с использованием данных [74]

Таблица 13 – Основные критерии онлайн-курсов

Курс	Сложность курса	Стоимость обучения	Длительность обучения	Количество положительных отзывов	Рейтинг
K1	90,0	96600,0	13,0	24,0	4,3
K2	70,0	31500,0	4,0	24,0	4,3
K3	60,0	15948,0	1,5	70,0	4,2
K4	50,0	15000,0	1,0	70,0	4,2
K5	75,0	27000,0	2,0	52,0	4,1
K6	85,0	24000,0	2,5	16,0	4,0
K7	60,0	34900,0	2,0	18,0	4,0
K8	65,0	15000,0	1,0	70,0	4,2
K9	80,0	45000,0	4,0	17,0	3,8
K10	50,0	31500,0	4,0	24,0	4,3
K11	45,0	17900,0	0,5	12,0	4,8
K12	55,0	15235,0	6,0	17,0	4,7
K13	65,0	57500,0	12,0	12,0	4,8
K14	80,0	70000,0	6,0	142,0	4,7
K15	60,0	38900,0	3,0	26,0	4,7
K16	90,0	151800,0	12,0	168,0	4,8

Курс	Сложность курса	Стоимость обучения	Длительность обучения	Количество положительных отзывов	Рейтинг
K17	95,0	156000,0	18,0	43,0	4,8
K18	80,0	14900,0	1,0	38,0	4,7
K19	100,0	212688,0	12,0	73,0	4,6
...
K200	60,0	17500,0	1,0	43,0	4,8

Источник: разработано автором с использованием данных [6]

В качестве главного инструмента анализа многомерной статистики использовался кластерный метод – k-средние (K-Means Clustering, КМС).

Средствами проведенного анализа являлись среда разработки Jupyter Notebook, пакет Pandas с открытым исходным кодом, предназначенный для обработки и анализа данных, и библиотека NumPy, добавляющая поддержку больших многомерных массивов и матриц.

Классификация онлайн-курсов проводилась по группе показателей, отражающих тематическую принадлежность онлайн-курсов. В качестве показателей группы выбраны числовые данные – стоимость, длительность обучения, количество положительных отзывов, рейтинг онлайн-курса, уровень сложности, который оценивается по 100-бальной шкале.

Алгоритмы машинного обучения работают лучше, когда различные переменные имеют меньший масштаб. Поэтому перед обучением модели необходимо привести данные к одному диапазону. Используем метод Max-Min Normalization (Min-Max Scaling).

Поскольку набор данных имеет несколько признаков, которые отличаются по диапазону распределения, необходимо нормализовать данные к единому виду. Скорректируем каждое значение так, чтобы они находились в одном диапазоне.

Вычислим каждый нормализованный элемент признака (критерия) с помощью формулы

$$x_{i,norm} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (28)$$

где $x_{i,norm}$ – нормализованный элемент признака;

x_{min} – наименьший элемент признака;

x_i – i -й непреобразованный элемент;

x_{max} – наибольший элемент признака.

Таким образом была проведена нормализация числовых значений. На рисунке 9 изображены преобразованные данные в диапазоне $[0; 1]$.

Используя неиерархический итеративный алгоритм кластеризации, воспользовавшись методом k -means и мерой расстояния – квадрат расстояния Евклида, получили данные, представленные в таблице 1. Общая идея данного метода заключается в минимизации расстояний в кластерах между объектами. Объектами являются онлайн-курсы. Алгоритм завершается, когда еще большая минимизация расстояний невозможна. Преимуществом алгоритма k -means является простота и быстрота использования, а также понятность и прозрачность.

	price	long	positive reviews	rating	course
0	0.422925	0.495146	0.120000	0.5	K1
1	0.137022	0.145631	0.120000	0.5	K2
2	0.068722	0.048544	0.382857	0.4	K3
3	0.064559	0.029126	0.382857	0.4	K4
4	0.117260	0.067961	0.280000	0.3	K5
...
195	0.081686	0.048544	0.228571	1.0	K196
196	0.156100	0.048544	0.400000	0.8	K197
197	0.075538	0.048544	0.228571	1.0	K198
198	0.154572	0.029126	0.400000	0.8	K199
199	0.075538	0.029126	0.228571	1.0	K200

200 rows x 6 columns

Рисунок 9 – Фрагмент матрицы стандартизированных данных

Источник: разработано автором

Также необходимо получить число кластеров, которое лучше всего позволяет классифицировать сходства и различия онлайн-курсов. Алгоритм k-средних сначала определяет начальные объекты, которые используются для формирования каждой группы. Соответственно число начальных онлайн-курсов равно параметру Количество групп. Первый начальный онлайн-курс выбирается произвольно. При выборе оставшихся начальных применяется взвешивание, которое отдает предпочтение курсам, наиболее отдаленным от существующего набора начальных. После определения начальных значений все курсы назначаются ближайшему начальному объекту. Для каждого кластера курсов вычисляется центр данных (центроид), а каждый курс назначается ближайшему центру. Для группировки курсов используется жадная эвристика, т. е. на каждом шаге добавляется новый элемент к текущему частичному решению.

Вычисляя значения меры сходства между объектами с помощью Евклидова расстояния, получаем следующее распределение онлайн-курсов между кластерами (таблица 14).

Таблица 14 – Полученные результаты принадлежности к кластерам

Обозначение	Цена	Длительность	Рейтинг	Количество
1	28122	3	4,2	58
2	49577	5	4,7	91
3	128888	15	4,4	51

Источник: разработано автором

Для оценивания оптимального количества кластеров используют метод «Локтя» или силуэтную меру связанности. С помощью метода «Силуэт» можно узнать меру связанности элементов, а именно, насколько близко элемент соответствует данным в своем кластере и насколько слабо он соответствует данным соседнего кластера. Для оценки оптимального количества кластеров были рассчитаны коэффициенты силуэтов (таблица 15).

Таблица 15 – Оценивание оптимального количества кластеров

Количество кластеров	Коэффициент силуэта
2	0,580193
3	0,785487
4	0,607991
5	0,415814
6	0,212850

Источник: разработано автором

Распределение оценивания оптимального количества кластеров показало рекомендованное количество кластеров – 3 (рисунок 11).

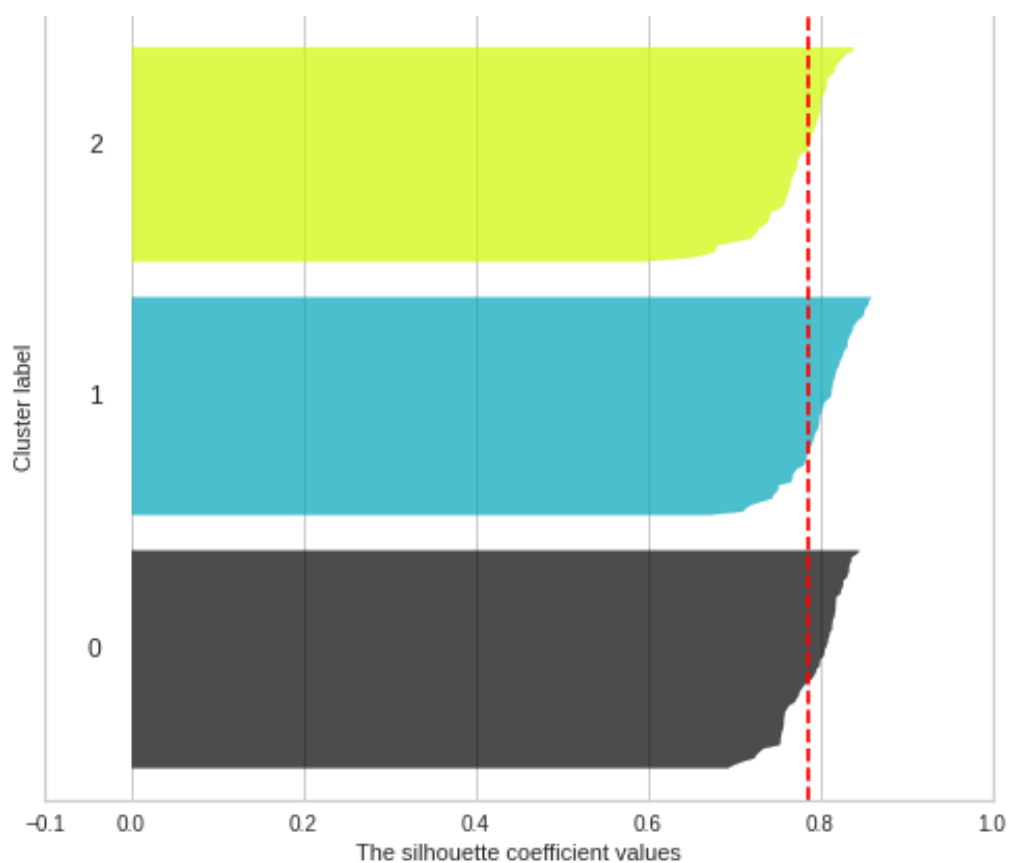


Рисунок 11 – Распределение данных по трем кластерам

Источник: разработано автором

При разбиении онлайн-курсов по критериям получили три кластера, представленные в таблице 16. Остальные расчетные таблицы кластерного анализа находятся в приложении Б.

Таблица 16 – Конечные центры кластеров

Критерии онлайн-курса	Кластеры		
	1	2	3
Стоимость	0,122187	0,21641	0,429310
Длительность	0,109976	0,21647	0,576622
Количество положительных отзывов	0,155467	0,26718	0,454677
Рейтинг	0,429310	0,90329	0,629411
Сложность	0,46578	0,36544	0,465777

Источник: разработано автором

По расстоянию между центрами близки первый и второй кластеры. Профиль первого кластера характеризуется достаточно высоким рейтингом в диапазоне от 3.8 до 4.3, ценой от 18 000 до 70 000 рублей, длительностью от 0.5 до 12 месяцев, количеством положительных отзывов от 3 до 142, разнообразием сложности курса: высокий, средний, базовый. Курсы, вошедшие в данный кластер: «Python для анализа данных», «Профессия Python для решения бизнес-задач», «Алгоритмы и структуры данных на Python. Базовый курс», «Python для анализа данных», «Python для анализа данных», «Курс аналитика 1С (Системный аналитик 1С + Бизнес-аналитик 1С)» и т. д.

Вторая группа наблюдений характеризуется самым высоким показателем рейтинга курсов. В основном в данную группу наблюдений вошли курсы, имеющие следующие уровни сложности: начальный и средний. Также можно определить курсы, вошедшие в данный кластер: «Мастер веб-аналитики», «Бизнес-аналитик», «Аналитика данных», «Аналитика мобильных приложений», «Язык R для аналитики» и т.д. В данный кластер вошло максимальное количество онлайн-курсов – 91.

Третий кластер характеризуется высокой длительностью обучения (12–18 месяцев), достаточно высокой стоимостью (76 000–228 000 рублей), рейтингом от 4.2 до 4.8, количеством положительных отзывов от 89 до 178. Курсы, вошедшие в данную группу, имеют в основном высокий и средний уровни сложности, также существуют 5 курсов с начальным уровнем сложности. В данную группу наблюдений вошли следующие онлайн-курсы: «Профессия Data Scientist», «Data Scientist: с нуля до middle», «Machine Learning Engineer», «Профессия Аналитик данных», «Факультет Python-разработки», «Курс MBA "Бизнес-аналитика"», «Профессия Бизнес-аналитик» и т. д.

На рисунке 12 показаны результаты анализа характеристик онлайн-курсов, полученные с использованием кластерного метода – k-средние (K-Means Clustering, КМС). На карте представлены в качестве входных данных онлайн-курсы, выделенные разным цветом в соответствии с определенным кластером. На карте фиолетовым цветом выделены курсы с самыми высокими характеристиками онлайн-курсов и соответствующие тематической принадлежности «Анализ данных». Бежевым цветом выделены курсы со средними значениями показателей и тематической принадлежностью «Карьера и личностное развитие». Оранжевым цветом выделены курсы с наименьшими показателями и тематикой «Мобильная и веб-разработка». Черным цветом выделены курсы, которые принадлежат кластеру «Бизнес и финансы».

После разработки кластерного решения необходимо выяснить, устойчиво ли оно. Используем метод оценки модели машинного обучения – k-Fold кросс-валидацию (перекрестная проверка). Процедура заключается в разделении датасета с помощью библиотеки `scikit-learn` на k-групп, для каждой уникальной выборки выделяется группа в качестве тестирования, остальные группы онлайн-курсов в качестве выборки учебных данных. Далее происходит оценка модели на тестовой выборке. Подготовка данных до подбора модели происходила на выборке учебных данных, заданных кросс-валидацией в цикле.

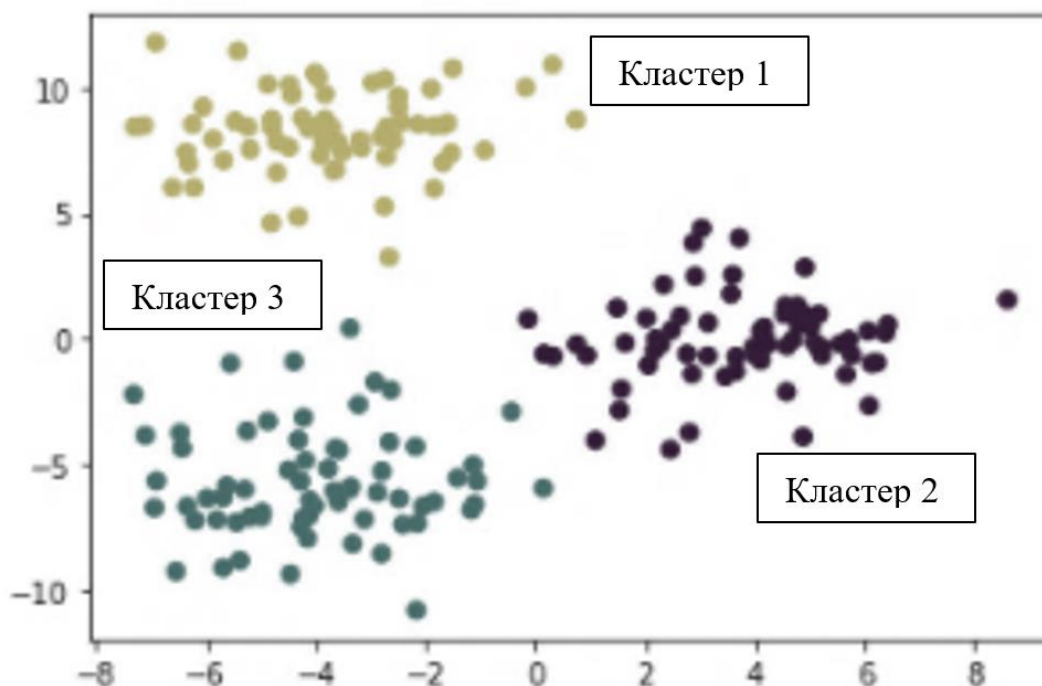


Рисунок 12 – Выделенные кластеры онлайн-курсов

Источник: разработано автором

Кросс-валидация помогает выбрать наиболее эффективную модель, вычисляя ошибку на тестовом наборе данных, который не использовался для обучения. Тестовый набор данных помогает рассчитать точность модели и то, как она будет обобщаться с будущими данными. По результатам расчёта точность классификации онлайн-курсов равна 0,893 (результаты расчетов представлены в приложении Б).

Сформулируем несколько общих выводов, которые можно сделать из проведенного кластерного анализа.

а) Онлайн-курсы были разделены на 3 группы по критериям онлайн-курсов. Каждый кластер состоит из максимально близких объектов – онлайн-курсов.

б) Центры кластеров 1 и 3 находятся на большом расстоянии друг от друга, что свидетельствует о различной ценовой политике авторов онлайн-курсов, рейтинге курсов, длительности обучения.

в) Центры кластеров 1 и 2 находятся на минимальном расстоянии друг от друга, что свидетельствует о сходных критериях онлайн-курсов, таких как

длительность обучения, количество положительных отзывов, рейтинг, а также о пересечении уровней сложностей.

По результатам проведенного кластерного анализа онлайн-курсов построен алгоритм формирования индивидуальной траектории электронного обучения.

Постановка задачи. Пусть $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}$ множество онлайн-курсов, которые осваивает студент, $K = \{K_1, K_2, K_3, \dots, K_n\}$ – множества навыков обучающегося, y_n – оценка уровня подготовки пользователя, $y_{\text{факт}}$ – фактическая оценка за пройденный курс. На вход алгоритма поступает таблица с данными о предпочтениях обучающегося и навыках, которые он хочет приобрести (входная форма), а также таблица с имеющимися онлайн-курсами и соответствующими навыками, которые можно будет приобрести по окончании обучения. Необходимо учитывать, что каждый курс участвует в оценке навыков (компетенции). Тогда последовательность освоения навыков можно представить в виде нижней треугольной матрицы смежности X (таблица 17), элементы которой $\|x_{ij}\|$ определяются следующим образом: $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i \text{ предшествует } j \\ 0, & \text{если } i=j \end{cases}$.

Таблица 17 – Матрица смежности графа навыков

Компетенции	Компетенции				
	к1	к2	к3	...	кj
к1	0	1	1		
к2	0	0			
к3	0	0	0		
...	0	0	0	0	
кi	0	0	0	0	0

Источник: разработано автором

Любой курс реализует только один навык, но каждый навык может быть реализована одним и более курсами. Тогда взаимосвязь между курсами и навыками можно представить в виде матрицы соответствия (таблица 18).

Таблица 18 – Матрица соответствия навыков пользователя онлайн-курсам

Курсы	Компетенции					
	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	...	К _n
S ₁	0	0	0	0
S ₂	0	0	1	0
S ₃	0	1	0	0
S ₄	0	0	0	1	...	0
...
S _n	0	0	0	0	...	1

Источник: разработано автором

Критерии курса $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5\}$ – результаты измерения характеристик курса. Критерии онлайн-курса соответствуют предпочтениям пользователя. Пользователь указывает предпочтения самостоятельно с помощью входной формы. Все признаки имеют однородный числовой тип. После выбора предпочтений совокупность признаков описаний всех объектов (онлайн-курсов) представляется в виде матрицы соответствия объектов-признаков (курсы-критерии).

Формирование индивидуальной траектории обучения состоит из выбора на каждом шаге конкретного курса в соответствии с навыками пользователя.

Рассмотрим пример. Имеется множество онлайн-курсов, которые соответствуют определенным навыкам. Пользователю необходимо освоить определенные навыки на каждом этапе (рисунок 13).

На каждом шаге выбирается курс в соответствии с выбранной областью знаний, который ставится в соответствие с навыками, которые хочет приобрести пользователь (рисунок 14).

Проверка текущей успеваемости студента происходит с помощью тестирования, по результатам которого формируется оценка для дальнейшей корректировки индивидуальной траектории обучения.

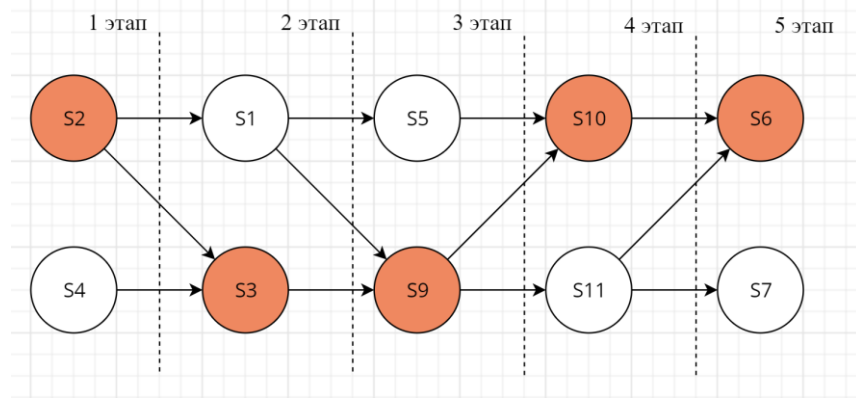


Рисунок 13 – Граф навыков

Источник: разработано автором

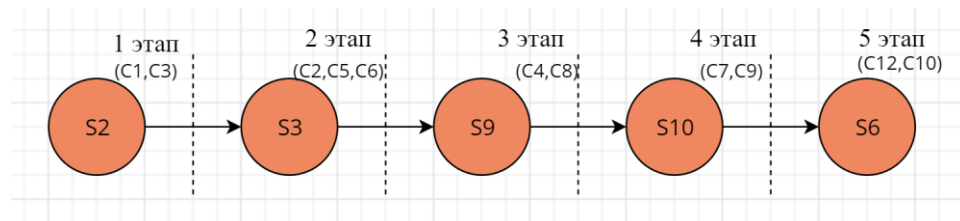


Рисунок 14 – Граф выбора последовательности курсов

Источник: разработано автором

Адаптация по критерию «Сложность онлайн-курса» осуществляется с помощью алгоритма градиентного спуска. Используемый алгоритм с элементами адаптации даёт возможность построить эффективную систему рекомендаций в соответствии с интересами пользователя для возможности выбора последовательности онлайн-курсов. Основные преимущества применения данной методики к процессу рекомендаций заключаются в том, что этот подход позволяет рассматривать формирование рекомендаций как динамический процесс, который может быть оптимизирован в долгосрочном периоде. Оценка уровня подготовки пользователя определяется по формуле

$$y_{n+1} = y_n + \gamma_n * (y_{\text{факт}} - y_n), \quad (28)$$

где y_n – оценка уровня подготовки пользователя;

$j_n=1/n$ – шаг адаптации, n – номер шага адаптации (и принятия решения), $n=1 \dots N$;

$U_{\text{факт}}$ – фактическая оценка за пройденный курс с учетом элементов знаний по результатам тестирования.

Итак, имеется алгоритм формирования индивидуальной траектории обучения по многокритериальному выбору онлайн-курса в каждый момент принятия решений согласно заданному множеству критериев и последовательному освоению навыков. Такого рода задачи учат осуществлять выбор обоснованно, эффективно используя имеющуюся в наличии информацию о целях и предпочтениях пользователя.

Данный алгоритм применим к системам онлайн-обучения (e-learning) при организации индивидуальной траектории обучения для массовых открытых онлайн-курсов. В случае использования данного алгоритма для многокритериального выбора онлайн-курсов будут необходимы только входная таблица предпочтений и кластерная модель онлайн-курсов, представленная в п. 2.4. На рисунке 15 изображена схема работы алгоритма.

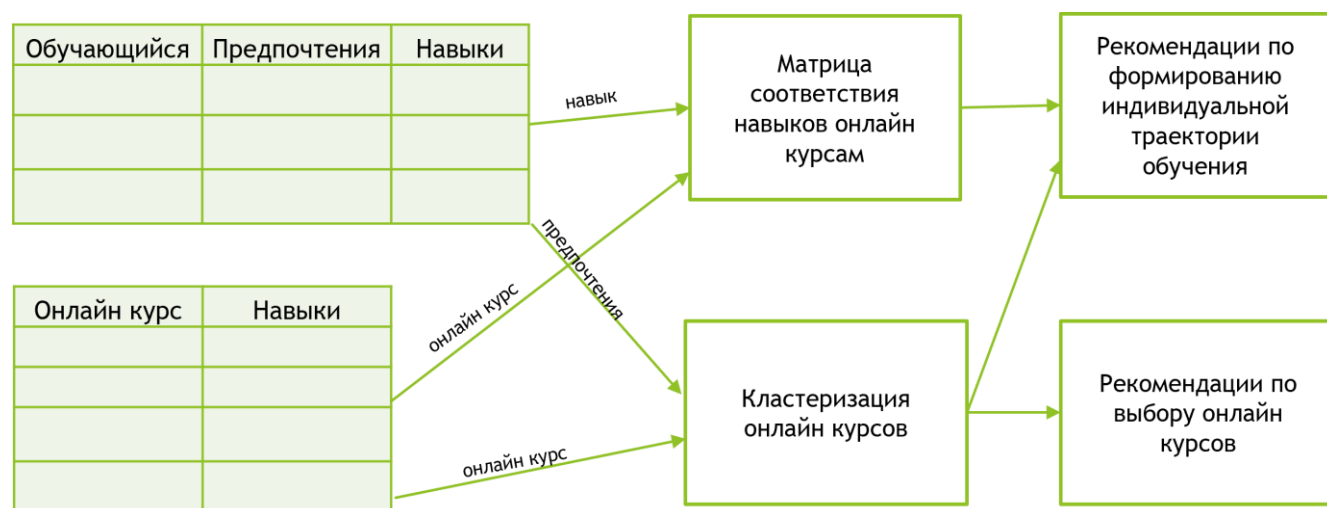


Рисунок 15 – Схема работы алгоритма

Источник: разработано автором

Для применения разработанного алгоритма рекомендаций в главе 3 была разработана СПВР по формированию индивидуальной траектории электронного обучения.

Выводы по второй главе

а) Проведен анализ и выбор показателей и критериев качества онлайн-курсов для формирования индивидуальной траектории обучения с помощью многокритериальных методов принятия решения.

б) Проведен анализ функциональной полноты MOOK-платформ. Выделенные группы систем классифицируются по следующему наличию главных функций: мобильное обучение, синхронное обучение, геймификация, соответствие SCORM, оценка онлайн-курсов, управление онлайн-курсом, создание пулов вопросов, формирование тестов, оценивание, формирование комментариев к вопросам (Student Quiz). Следовательно, полноценная система управления онлайн-обучением (MOOK-платформа) оптимально должна: быстро собирать и доставлять учебный контент на нескольких языках; измерять эффективность учебных курсов; использовать смешанное обучение; поддерживать и персонализировать контент; формировать индивидуальные пути обучения.

в) Проведен нечеткий многокритериальный анализ качества электронного курса. В результате проведенного анализа были выделены показатели качества для оценки курса электронного обучения. Представлен нечеткий подход к оценке качества курса электронного обучения. Разработан алгоритм комплексной оценки качества электронных курсов. Выделен интегрированный критерий качества, который включает в себя набор критериев, относящихся к содержанию и системным требованиям, а также к удовлетворенности пользователей онлайн-курса. Разработана иерархическая структура модели качества электронного обучения. Предложена нечеткая модель и методика оценки качества онлайн-курсов при формировании индивидуальной траектории обучения.

г) Проведен кластерный анализ МООК по следующим критериям: сложность курса, длительность, рейтинг, количество положительных отзывов. Онлайн-курсы были разделены на 3 группы. Каждый кластер состоит из максимально близких объектов – онлайн-курсов. Кластеризацию онлайн-курсов можно использовать в качестве рекомендаций по выбору онлайн-курсов с несколькими критериями одновременно.

д) Разработан алгоритм формирования индивидуальной траектории электронного обучения на основе кластерного анализа онлайн-курсов.

е) Разработан алгоритм оценки экономической эффективности онлайн-курсов. Для оценки влияния формата обучения на качество обучения, выраженное в баллах, набираемых обучающимися за разные учебные активности, был проведен статистический анализ данных.

Глава 3 Разработка системы поддержки выдачи рекомендации (СПВР) по формированию индивидуальной траектории электронного обучения на основе массовых открытых онлайн-курсов

3.1 Онтологическая модель системы поддержки выдачи рекомендаций по формированию индивидуальной траектории обучения с учетом запросов и предпочтений обучающегося

Система поддержки электронного обучения, предназначенная для достижения персонализации и адаптивности обучения, должна иметь не только гипермедиа репозиторий, содержащий HTML и XML-страницы с контентом учебных материалов, но также хранилище, содержащее знания о предметной области, к которой относится учебный объект.

База знаний включает описание каждого элементарного учебного объекта, которое соответствует пространству знаний о содержании электронного обучения в целом (конкретной предметной области). Онтология содержания знаний является моделью знаний о фактической части электронного обучения и необходима для обеспечения выполнения правил композиции, чтобы включить в индивидуальную траекторию обучения объекты, адаптированные к структуре профиля студента. Правила композиции основаны на стандартных метаданных для обеспечения взаимодействия между онтологиями и представлены в формальной онтологии для поддержки автоматического вывода.

Система использует модель обучающегося, представляющую знания о профиле каждого обучающегося. Профиль обучающегося будет использоваться во время работы СПВР для того, чтобы определить, какие цели и предпочтения охватываются содержанием онлайн-курса, который система предоставляет обучающемуся. Такой профиль студента должен непрерывно обновляться в

процессе электронного обучения. Студенческая модель представлена и реализована как онтология.

Онтология предметной области классифицирует различные области научных знаний и привязывает к ним понятия (ключевые слова), используемые в различных онлайн-курсах, с помощью организованной иерархической структуры. Так, согласно классификации области компьютерных наук, класс понятий «Программное обеспечение» является прямым подклассом «Компьютерных наук» и состоит из разделов «Программная инженерия», «Операционные системы», «Языки программирования» и «Технологии программирования» в качестве подклассов.

Эти разделы или темы, такие как «Языки программирования», затем классифицируются на различные подтемы, такие как «Алгоритмы», «Основы программирования», «Web-программирование» и т. д. Конкретные темы, в частности «Программирование на языке Python», описываются как отдельные экземпляры класса «Основы программирования».

Прикладная онтология структурирует информацию, связанную с пользователями и ресурсами. Owl-файлы онтологии содержат подробную информацию о ресурсах, таких как автор, темы, форма представления: видео, конспекты лекций, ссылки на учебники и т. д. Описание этих ресурсов состоит из свойств данных, которые связывают файлы, размещенные на сервере приложений, с индивидами, определенными в рамках конкретного ресурса в owl-онтологии. Например, онлайн-курс «Программирование на языке Python» выступает как индивид с соответствующими ресурсами – конспектами лекций, которые, в свою очередь, описываются как подкласс свойства «Источник».

Другим важным классом этой онтологии является класс, представляющий различных конечных пользователей, использующих эту систему. Эти пользователи включают обучающегося, тьютора, автора и администратора, и они определяются как подклассы класса «Пользователь». Эти пользователи имеют определенные свойства данных, такие как, например, идентификатор пользователя и квалификационные характеристики пользователя.

После идентификации индивидов и соответствующих им классов определяются различные свойства объекта, которые связывают индивидов друг с другом. Например, Студент X является учеником Преподавателя Y или наоборот, Преподаватель Y является учителем Студента X. Такое же соотношение характерно для каждого студента и преподавателя. Такие свойства объекта определяются как обратные свойства объекта.

Различные индивидуумы, идентифицированные в онтологии «Языки программирования», связаны через свойства объектов с индивидуумами, определенными в классе «Ресурсы», классе «Ключевые слова», а также в классе «Пользователи». Такой индивид, как «Основы_языка_программирования_Python.pdf» ассоциируется с ключевыми словами класса «Ключевые слова языка программирования Python», который является подклассом «Ключевые слова языков программирования», который, в свою очередь, является подклассом класса «Ключевые слова». Семантическая сеть позволяет использовать распределенные знания в различных формах, подключаемых семантически заданной аннотацией содержания. Распределенная природа семантической сети обеспечивает возможность для непрерывного обновления и совершенствования учебных материалов.

В системах персонализированного электронного обучения решаются следующие задачи: а) формирование индивидуальной траектории обучения в динамическом режиме и рациональный выбор набора учебных материалов, соответствующих текущим потребностям обучающегося; б) определение профиля обучающегося; в) разработка способов представления знаний об учебном процессе. Композиция разнородных информационных ресурсов и сервисов при их включении в траекторию обучения должна осуществляться автоматически на основе анализа качества учебных ресурсов с учетом их характеристик, их соответствия профилю пользователя, который может меняться в процессе обучения. Для автоматического построения индивидуальной траектории обучения используются элементы знаний (концепты), которые упорядочиваются в требуемом порядке в последовательность. Выбор и последовательность

фрагментов знаний нужно определить в соответствии с характеристиками студента, например предпочтениями в выборе контента, стилем обучения, способностями или по некоторым ограничениям, такими как начальные требования к уровню знаний и длительность курса. Построение траектории обучения предполагает поиск наилучшего возможного способа привязки между каждым студентом и учебными объектами в соответствии с требованиями образовательного процесса.

Ряд исследователей рассматривают задачу формирования оптимальной траектории обучения как многокритериальную оптимизационную задачу принятия решения. Методы поиска индивидуальной траектории обучения в электронной среде реализуются в виде СПВР. Целью разработки и внедрения СПВР в среде электронного обучения является задача оптимального выбора учебных ресурсов из множества доступных на основе анализа качества учебных ресурсов и восприятия их пользователями. Чтобы сделать процесс обучения персонализированным, СПВР может быть интегрирована в платформу электронного обучения, чтобы рекомендовать учебный материал на основе информации, относящейся к конкретному пользователю.

Рекомендательные системы в общем случае используют методы многокритериального процесса принятия решений (MCDM), искусственный интеллект, онтологии, нечеткую логику, а также другие методы для предоставления персонализированных рекомендаций.

В разрабатываемой системе поддержки электронного обучения онтологии используются следующим способом:

- для определения контекста учебного процесса и описания предметной области используемых профессиональных и научных знаний;
- для описания семантики (содержания) учебных материалов;
- для структурирования учебных материалов в учебных курсах и программе в целом;
- для описания контекста профиля обучающегося.

Онтологическая модель включает модель описания ресурсов, модель обучающегося (профиль пользователя) с описанием его предпочтений и характеристик, а также онтологическую модель компетенций учебной программы. Использование онтологического подхода обеспечивает основу для создания интеллектуальной системы поддержки электронного обучения, когда в онтологиях сохраняются данные о текущем состоянии персонального учебного процесса обучающегося, данные о его требованиях и данные об успешных стратегиях выбора и освоения ресурсов другими пользователями со схожими характеристиками. На основе этой информации система осуществляет поиск ресурсов с последующей их интеграцией в структуру индивидуальной траектории обучения. Оценка функциональных характеристик учебного ресурса производится на основе сравнения описаний ресурса в онтологической модели учебных материалов и моделью пользователя, содержащей описание его требований и характеристик. Для оценки соответствия ресурсов профилю обучающегося используются семантические меры близости (мера Жаккара, мера Дайса, мера косинуса). Формируемая и обновляемая база знаний предоставляет данные, необходимые для работы алгоритмов машинного обучения и синтеза эффективной траектории обучения.

С помощью онтологий задачи и содержание курса аннотируются в терминах понятий предметной области с помощью ключевых слов и некоторых отношений между задействованными понятиями. Понятия предметной области (компетенции) используются также в качестве основы для формирования персонализированной траектории онлайн-обучения. Они используются для контекстно-зависимой конфигурации учебных модулей и их адаптации к конкретным потребностям пользователей. В этих целях к онтологии компетенций должны быть привязаны онтологии, определяющие контекст курса и профиль пользователя. Благодаря связыванию онтологий обеспечивается возможность построения семантических запросов по заданной тематике.

Любой поиск курсов в базе данных системы, например по «Программированию», может выдать несколько альтернативных курсов, которые

схожи по предметной области изучения, и ряду тематических концепций, но каждый из них может включать учебные модули или учебные объекты с разным содержанием или разным уровнем представления материала, которые в итоге будут влиять на уровень освоения компетенций студентом. Если отдельные модули или блоки включить как экземпляры в структуру онтологии системы, выделить для каждого из них ключевые компетенции и понятия и определить отношения для модулей с аналогичными темами в разных курсах, это будет способствовать более релевантному поиску и предложению студенту курсов, в наибольшей степени соответствующих его интересам и возможностям. Информация о характеристиках курсов, хранящаяся в атрибутах элементов онтологии, позволяет выяснять, как они соотносятся с потребностями конкретных пользователей.

Система рекомендаций по выбору учебного объекта (или курса) и включению его в траекторию обучения рассматривает схожие родственные понятия, которые имеются в профилях как студента, так и курса, используя динамическое сопоставление и привязку онтологий профилей курсов и профиля студента и определяя семантическое сходство между ними.

Онтология профилей пользователя-обучающегося включает в себя данные о студенте, такие как личная информация, академическая информация и информация о предпочтениях пользователя. Предпочтения пользователя определяются на начальной стадии с помощью анкет. В процессе работы с системой предпочтения в профиле корректируются, в частности, по результатам анализа запросов пользователей и по данным освоенных курсов. Слова в запросе поиска, введенные пользователями, обрабатываются и определяются семантически схожие термины (ключевые слова) в онтологии курса. Профиль пользователя также содержит данные о текущей и общей академической успеваемости студента и компетенциях, которые фиксируются по результатам освоенных учебных модулей. На рисунке 16 представлена онтология СПВР, с помощью которой запросы пользователей через профиль и ключевые слова связываются с курсом, имеющим по семантической близости сходные термины. В таблице 3 показан результат выполнения SPARQL запроса по ключевым словам пользователя, которые система сопоставляет с

ключевыми словами всех курсов на основе онтологии курсов. Результаты выполнения запросов представлены в приложении В [42].

Таблица 19 – Результат выполнения SPARQL запроса по ключевым словам пользователя

Ключевые слова	Рекомендуемые онлайн-курсы
Программирование на java	Основы программирования на java
Программирование	Программирование на java
Программирование	Основы программирования на java
Программирование на java	Основы программирования

Источник: разработано автором

«Ключевые слова, выделенные из запроса пользователя, сопоставляются с профилем пользователя. Если такие ключевые слова в профиле отсутствуют, они заносятся в онтологию профиля пользователя, тем самым уточняя интересы и предпочтения обучающегося.

Разрабатываемая СПВР реализует следующие функции:

- поиск и оценка соответствия онлайн-курсов запросам пользователей на основе онтологии курсов, онтологии предметной области и онтологии профилей пользователя для включения в индивидуальную траекторию;
- сбор данных о поведении и предпочтениях пользователя в системе (на основе анкет, запросов, электронных ведомостей с оценками).
- формирование модели обучаемого (профиля пользователя)» [104].

«СПВР может автоматически сопоставить найденный материал с уровнем знаний и предпочтениями обучающегося (в частности, какой формат презентации использовать, или какую стратегию обучения выбрать).

Использование онтологического подхода в системах выдачи рекомендации учебных материалов с учетом семантического анализа их содержания позволит повысить эффективность и результативность процесса онлайн-обучения и способствовать повышению уровня его персонализации» [107].

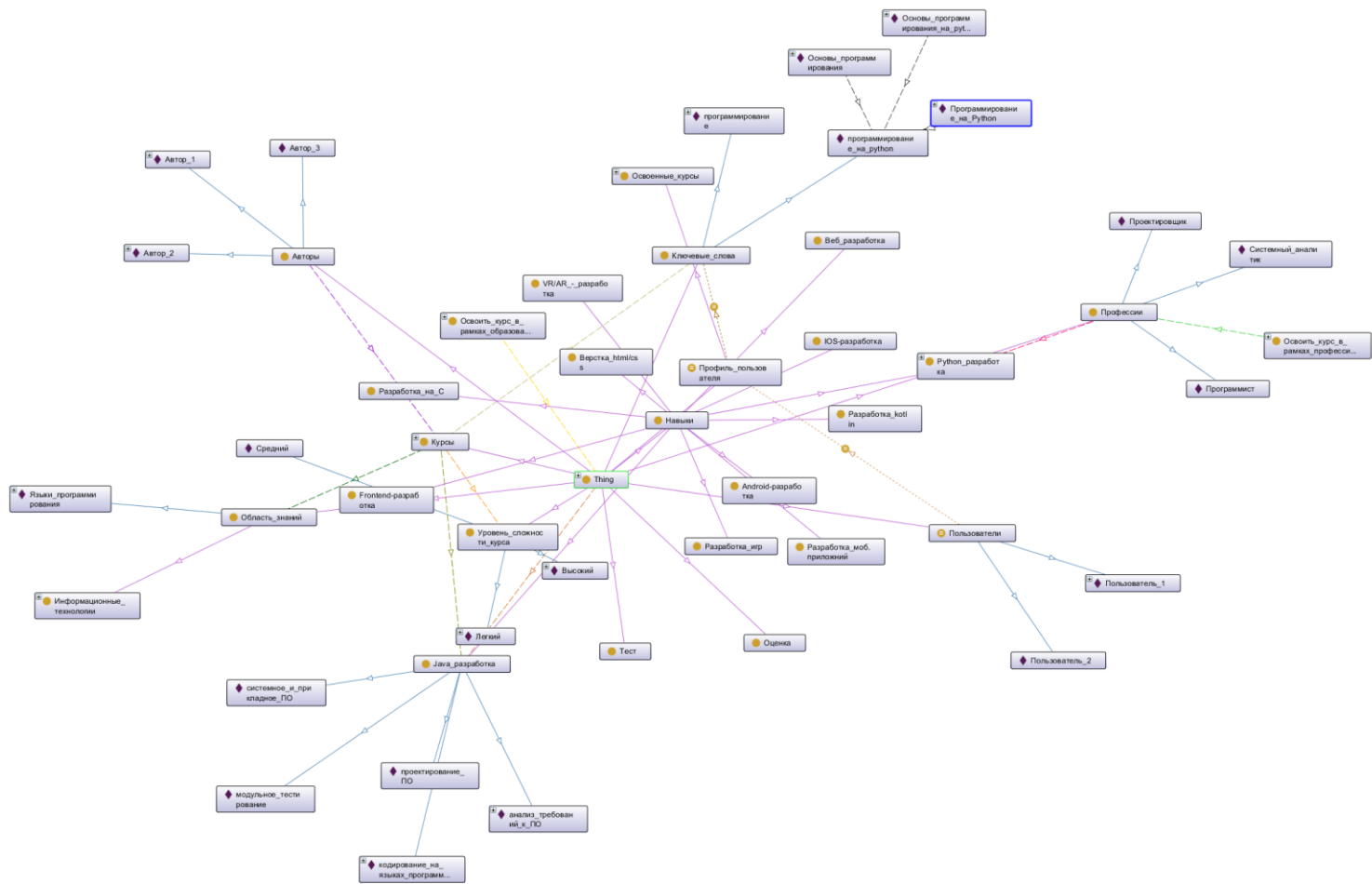


Рисунок 16 – Онтология СПВР электронного обучения

Источник: разработано автором

3.2 Архитектура системы поддержки выдачи рекомендаций по формированию индивидуальной траектории электронного обучения

«В последние годы интерес к рекомендательным системам значительно вырос, что позволило использовать их в различных областях. Современные рекомендательные системы предоставляют рекомендации, используя различные данные о пользователях, объектах и операциях пользователей над объектами. Все эти действия сохраняются в базе данных рекомендательной системы и могут быть использованы для новых рекомендаций. Информация, которую собирают рекомендательные системы, может быть задана явно – сбор оценок пользователей или неявно, путем отслеживания поведения пользователя.

Рекомендательная система – это интеллектуальная система, которая выдает активным пользователям предложения о цифровых товарах, которые могут им понравиться.

Рекомендательные системы – это системы, угадывающие предпочтения пользователей, результатом работы которых является предложение оптимальных решений. Сервис рекомендаций для выбора онлайн-курсов должен иметь в основе модель рекомендательной системы, а также дополнительные модули поддержки.

Большое количество исследовательских работ сосредоточено на исследованиях рекомендаций на тему электронного обучения. Наиболее часто используемые подходы к построению рекомендательной системы: коллаборативная (CF), контентная (content-base, CBF) и гибридная фильтрации. Коллаборативная фильтрация основана на матрице полезности контента или товара для пользователей. Контентная фильтрация сравнивает содержание документов с контентом, который интересует пользователя, чтобы сгенерировать рекомендацию.

Как и любая другая система, все методы рекомендательной системы сталкиваются с трудностями получения точной и качественной рекомендации. Проблема разреженности увеличивает вычислительное время, необходимое для прогнозирования. Следующей проблемой является холодный запуск. Трудность состоит в сложности рекомендации новых услуг новым пользователям. Именно недостаток знаний о пользователе или предоставляемой услуге приводит к некачественной выдаче рекомендации. Масштабируемость системы отражает степень поглощения растущего объема информации рекомендательной системы. Также проблема любой рекомендации состоит в поиске элементов, которые с наибольшей вероятностью будут предпочтительнее для пользователя из общего набора элементов.

Салехи предложил рекомендательный подход, основанный на скрытых характеристиках, который улучшает качество рекомендаций и решает проблему разреженности. Он использовал генетический алгоритм в качестве контролируемой учебной задачи для оптимизации веса скрытых функций для каждого учащегося на основе исторического рейтинга. Гибридная фильтрация рекомендательной системы для учебных материалов разработан Салехи и др. Их рекомендательная система состоит из фильтрации на основе атрибутов и на основе генетики для повышения качества рекомендаций в системе электронного обучения. Они использовали генетический алгоритм для оптимизации весов неявных или скрытых атрибутов материалов для учащегося.

СПВР работает с внешними данными, при решении задачи используется агрегатор онлайн-курсов в качестве БД, в которой данные представляются в виде онлайн-курсов, над которыми могут выполняться операции, такие как парсинг для анализа рекомендованных онлайн-курсов.

Спроектированная логическая модель базы данных представлена на рисунке 17. Построенная диаграмма классов показывает наличие нескольких классов: область знаний, онлайн-курс, уровень сложности, предпочтения пользователя, мультимедиа, пользователь, классификация предпочтений, оценка, тестирование, индивидуальная траектория обучения. Все они имеют необходимые атрибуты,

включающие ниже описанные операции, которые можно совершать с этими классами» [41].

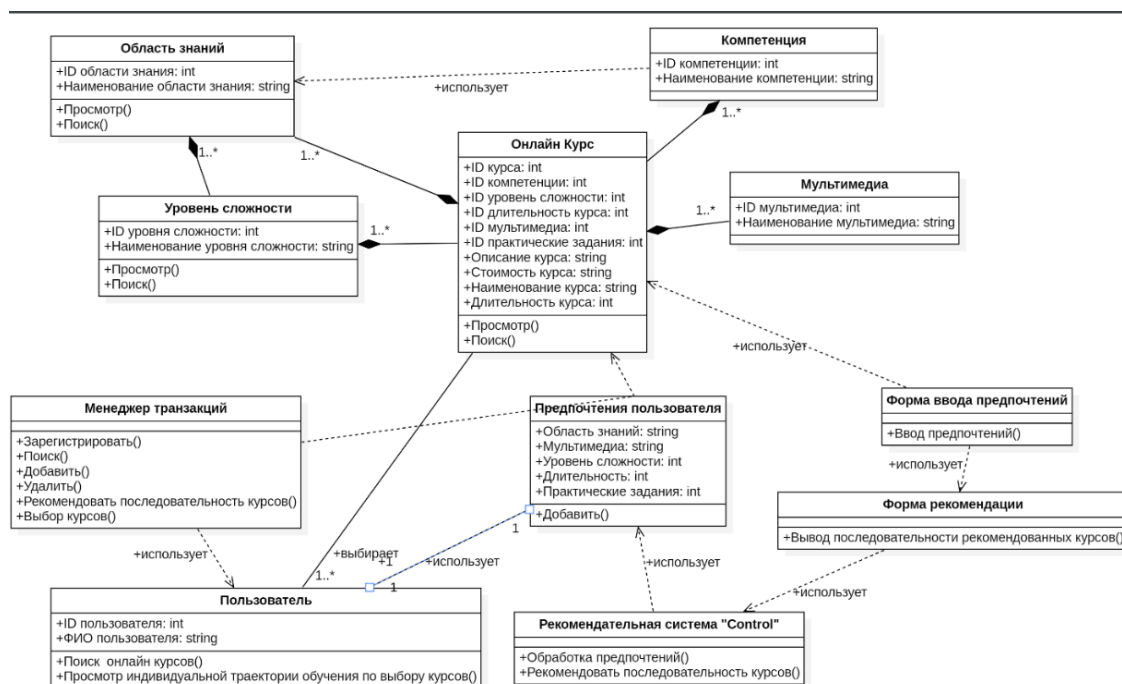


Рисунок 17 – Логическая модель базы данных

Источник: разработано автором

«При проектировании архитектуры СПВР, взаимодействующей с сервисом и пользователями, был выбран современный микросервисный подход. Основное преимущество данного подхода – разработка программных приложений как набора независимых автономных небольших сервисов. Микросервисная архитектура позволяет получить независимые фрагменты приложения, что влечет за собой повышение стабильности приложения в целом. Короткий и независимый релизный цикл позволяет быстро доставлять изменения до пользователей. Данное архитектурное решение является наиболее подходящим. Для поддержки платформ и устройств различных типов необходимы такие функции, как гибкость, масштабируемость, отказоустойчивость. Такими архитектурными решениями обладает микросервисный подход. Изменение модели данных в одном сервисе не влияет на работу остальных, так как каждый микросервис использует собственное хранилище данных. В данной архитектуре отсутствуют неявные межмодульные

взаимосвязи, потому определение сервиса, в котором произошла ошибка, становится тривиальной задачей, а ее устранение, ввиду простоты кода, занимает меньше времени, в сравнении с монолитной архитектурой.

Схема приложения, работающего по принципам микросервисной архитектуры, представлена на рисунке 18. В рассматриваемой архитектуре клиент-сервер запрос отправляется на основной сервер (узел). Основной сервер рассылает подзапросы по микросервисам, которые возвращают определенные данные. После обработки подзапросов и отправки ответа основному серверу, собранные данные отправляются клиенту» [41].

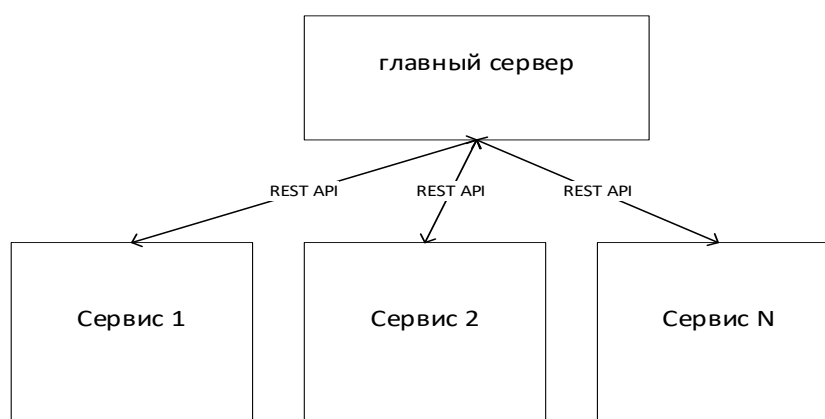


Рисунок 18 – Схема микросервисной архитектуры

Источник: разработано автором

Общая схема работы СПВР, который использует методику формирования индивидуальной траектории обучения предлагаемого подхода, представлена на рисунке 19.

Предлагается СПВР по выбору онлайн-курсов, которая настраивает на выдачу рекомендаций по предпочтениям пользователей, через создание модели индивидуальной траектории обучения, на основе входных данных пользователя, полученных от главного сервиса (рисунок 2). В качестве входных данных выступают характеристики профиля студента.

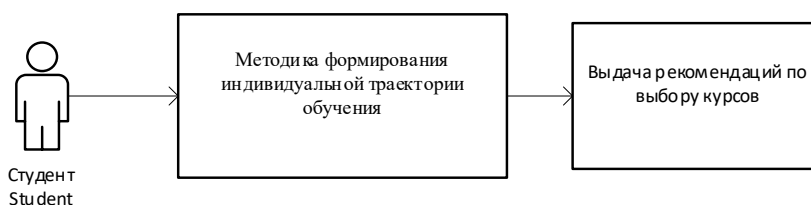


Рисунок 19 — Схема работы СПВР

Источник: разработано автором

«Основным объектами в данной СПВР по выбору онлайн-курсов являются пользователь, учебные объекты, навыки и взаимодействие между ними с учетом общих требований к освоению учебной программы.

Функциональные задачи разрабатываемой системы.

а) Сбор данных. На данном этапе происходит получение данных из источников и наполнение моделей пользователей и объектов (курсы, учебные модули, элементы знания).

б) Обработка и хранение данных. Использование базы знаний с обработкой в реальном времени, позволяющей работать без задержек. Знания структурируются с помощью иерархии классов, модулей и рабочих пространств.

в) Фильтрация учебных объектов с применением элементов адаптации индивидуальной траектории обучения, разработанной для СПВР. На данном этапе происходит наполнение моделей оценок (навыков).

г) Выдача рекомендаций. Преобразование списка рекомендаций, полученных на предыдущем этапе в формат, который будет передан модулю системы, ответственной за пользовательский интерфейс.

На протяжении функционирования СПВР происходит сбор данных элементов знаний пользователя, что позволяет системе адаптироваться под предпочтения пользователя. В функциональной архитектуре предполагается, что пользователь самостоятельно будет оценивать рекомендации, выданные ему системой. Извлечь знания обучающегося и знания об учебных курсах является основной задачей системы рекомендаций» [41]. Алгоритм функционирования СПВР изображен на рисунке 3.

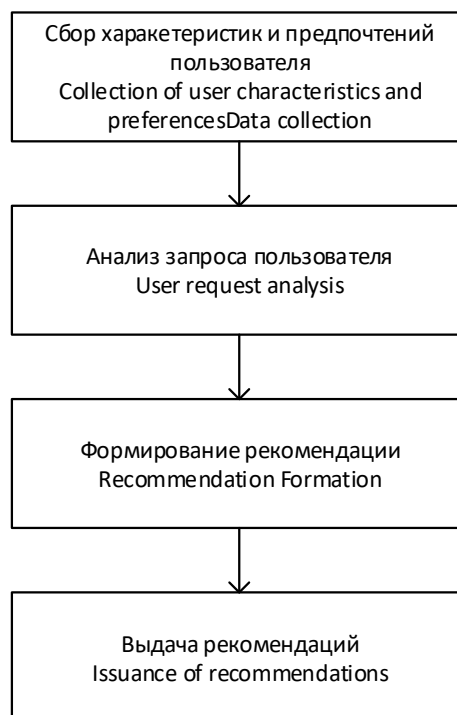


Рисунок 20 – Алгоритм функционирования СПВР

Источник: разработано автором

В качестве входных данных система получает запрос от пользователя. В качестве запроса выступает информация об интересах пользователя, таких как предпочтения пользователя и навыки, которые хочет приобрести пользователь. Данные предполагается получать и использовать на веб-проектах. Используя базу данных онлайн-курсов, формируется информация о критериях онлайн-курсов. Онтология необходима для выбора онлайн-курсов, в наибольшей степени соответствующих навыкам пользователя, профилю пользователя и оценкам пользователя. Отслеживание текущей успеваемости происходит с помощью тестирования, по результатам которого формируется оценка (балл). Информационное обеспечение работы СПВР представлено на рисунке 21.

«Для формирования рекомендаций при запросе пользователя происходит перебор всех объектов, отфильтрованный определенным образом, т. е. с помощью методики формирования индивидуальной траектории электронного обучения

происходит выбор последовательности онлайн-курсов в соответствии с навыками и предпочтениями обучающихся.

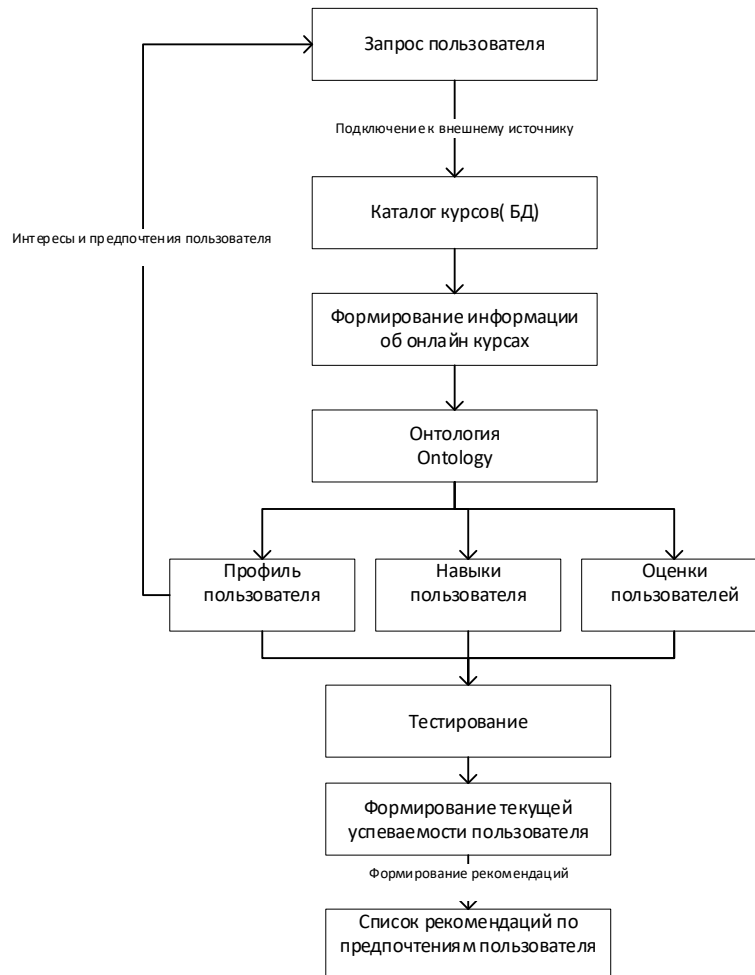


Рисунок 21 – Информационное обеспечение работы СПВР

Источник: разработано автором

В разрабатываемой СПВР выделены следующие бизнес-задачи, которые реализованы как отдельные микросервисы: сбор данных, формирование оценок о текущей успеваемости учебных объектов и выдача рекомендаций по выбору учебных объектов. Каждый из сервисов имеет собственное хранилище данных. Общение с другими сервисами происходит через API-интерфейсы. Также

программный комплекс будет включать в себя базу знаний (сервер учебных объектов, элементов знаний).

В качестве управляющего узла для хранения и обработки данных используется интегрированная среда разработки Pycharm и высокоуровневый фреймворк Django. Данный фреймворк реализует архитектуру Model-View-Template (MVT). Данная архитектура облегчает управление сложными структурами с помощью разделения приложения на такие части, как модель, представление и шаблоны. В качестве базы данных используется SQLite 3. Данная база данных поддерживает непрерывную интеграцию с фреймом данных Pandas, которая необходима для анализа онлайн-курсов и индивидуальных траекторий обучения студентов. Pandas – это встроенная библиотека python для обработки и анализа данных.

Первичная задача сервера сбора данных – получить исходные данные от пользователя. После отправки данных пользователя на сервер сбора данных эти данные попадают на сервер Stateless с помощью технологии REST API. Данная технология позволяет получать и модифицировать данные и состояния удаленных приложений, передавая HTTP-вызовы через интернет. При сборе данных и выдаче рекомендаций происходит обмен данными между сервером и клиентом. Stateless-сервера позволяет распределить данные на узлы формирования оценки фрагментов знаний (компетенций). С помощью методики формирования индивидуальной траектории обучения с элементами адаптации происходит формирование оценки для дальнейшей отправки информации на сервер базы данных. Сервис формирования рекомендаций состоит из трех компонентов: главный сервер, управляющий узел Pycharm и выдача рекомендаций» [41].

Таким образом, система работает с СУБД SQLite3 для сбора данных и системой логических рассуждений Fuxi на основе языка программирования Python для выдачи рекомендаций. Система Fuxi написана на языке python с целью создания семантической сети с открытым исходным кодом. Также Fuxi работает с внешними редакторами онтологий, например, Protege. Protege может сохранять данные в owl или xml-формате, что позволяет использовать код xml,

преобразованный с помощью скрипта, в python. База данных SQLite3 позволяет увеличить скорость записи данных без использования транзакций. Также с помощью встраиваемой библиотеки joblib легко масштабируется в зависимости от нужд микросервисов. На рисунке 22 представлена архитектура СПВР по формированию индивидуальной траектории обучения.

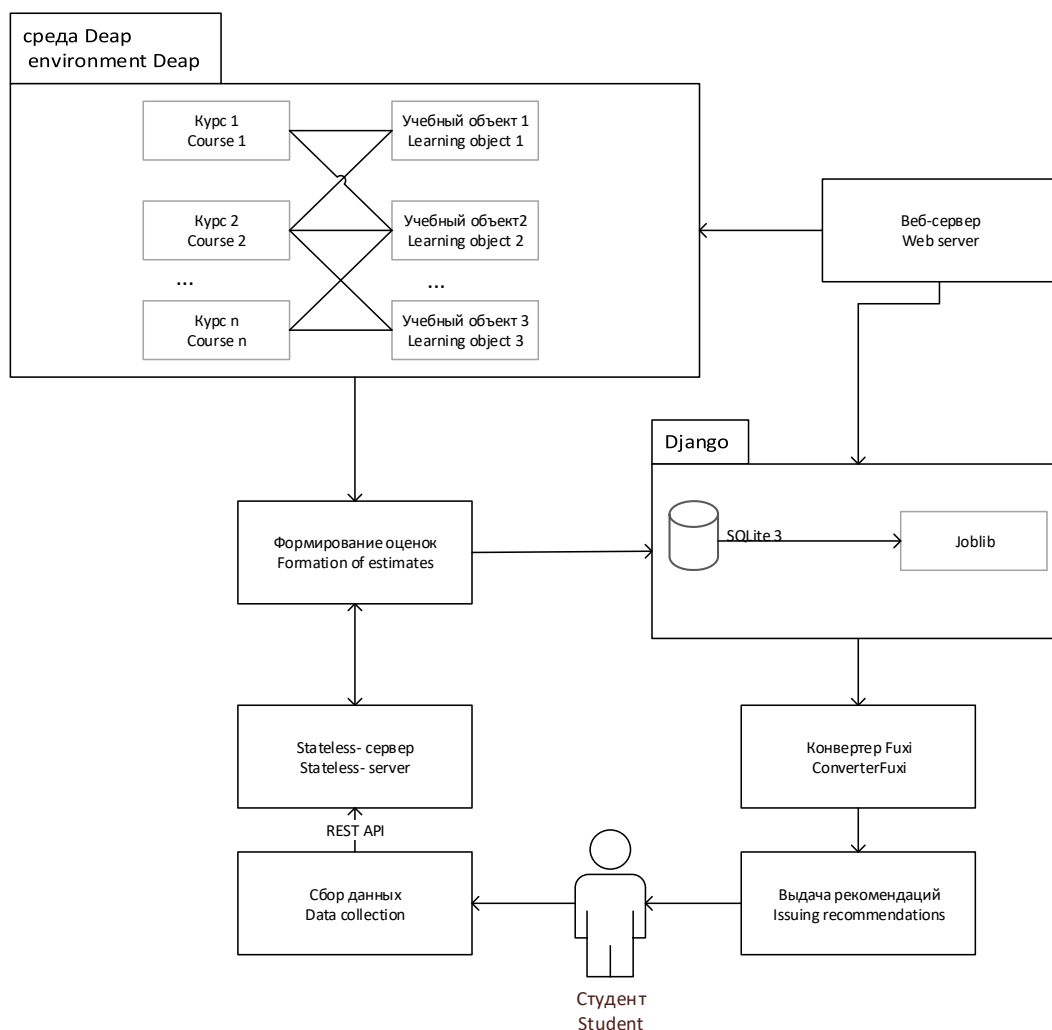


Рисунок 22 – Архитектура СПВР

Источник: разработано автором

3.3 Программный инструментарий по формированию индивидуальной траектории электронного обучения

При разработке СПВР необходимо представить функции актеров и взаимосвязь между актерами (рисунок 23). На диаграмме вариантов использования отражены все функции, которые реализуют следующие актеры: пользователь, СПВР, база данных (каталог курсов).

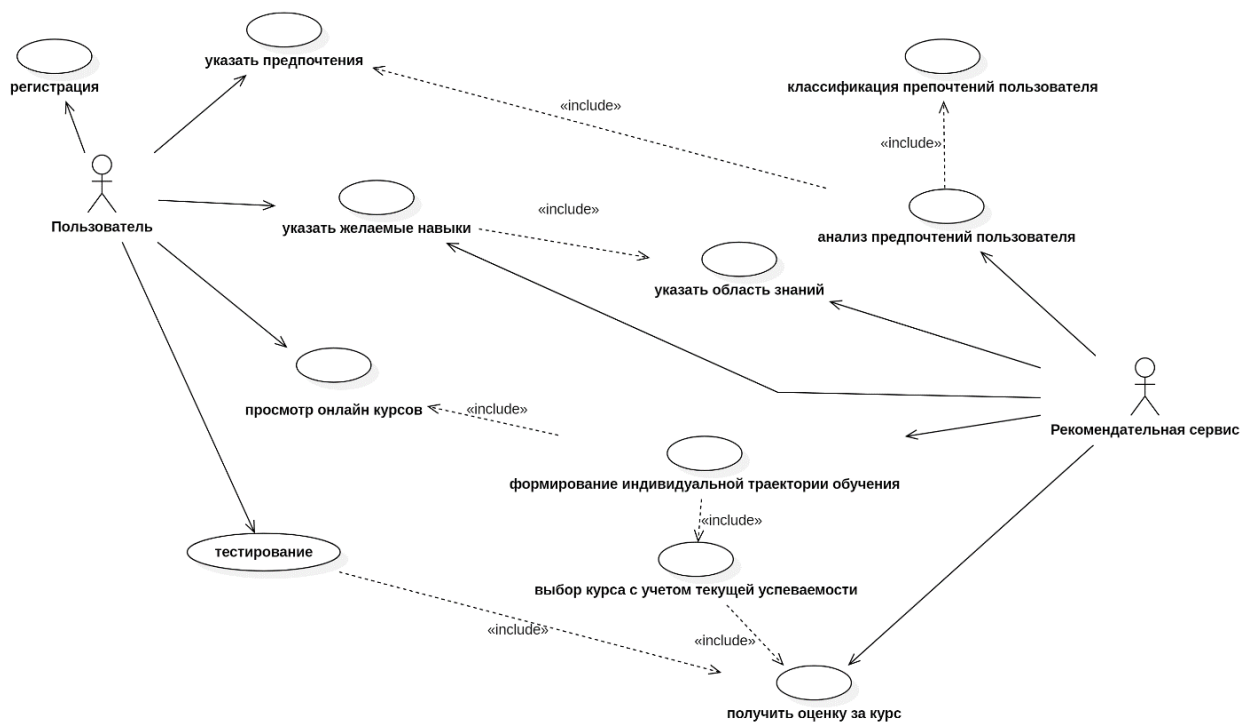


Рисунок 23 – Диаграмма вариантов использования «Функции всех актеров»

Источник: разработано автором

Пользователь сайта имеет следующие функции:

- ввести свои характеристики и предпочтения, выбрав область знаний, уровень сложности, стоимость курса, длительность курса, практические задания, тип восприятия информации (аудио, видео, презентация, и т. д.);

- просмотреть курсы, которые система выдала ему в форме рекомендаций, а именно: информацию об области знаний, наименовании курса, уровне сложности, цене, описании и ссылке на курс.

СПВР после введенных пользователем предпочтений выдает рекомендации по их результатам, показывает результаты пользовательского запроса в виде информации о последовательности курсов, которые необходимо изучить: наименование курса, уровень сложности курса, стоимость, описание, мультимедиа, практические задания.

Выделим несколько требований к разработке СПВР:

- требования к хранению данных. Все данные должны храниться в структурированном виде под управлением БД SQLite3;

- требования к языкам программирования. Для реализации использовались язык гипертекстовой разметки HTML, каскадные стили CSS, для реализации валидации данных – JavaScript. Для серверной части использовался язык программирования Python, фреймворк Django.

СПВР состоит из следующих компонентов:

- модуль расчета кластеризации онлайн-курсов;
- модуль моделирования результативности формирования индивидуальной траектории электронного обучения;
- Модуль оценки качества онлайн-курсов.

Анализ систем показал, что для реализации аналитического модуля кластеризации онлайн-курсов оптимальным инструментом будет являться Jupiter notebook со встроенной библиотекой scikit-learn, содержащей в себе необходимые модули кластеризации, а также с использованием базы данных MySQL для хранения данных (рисунок 24).

Модуль мониторинга представляет собой набор отчетов, состоящих из ключевых показателей эффективности (KPI) СПВР.

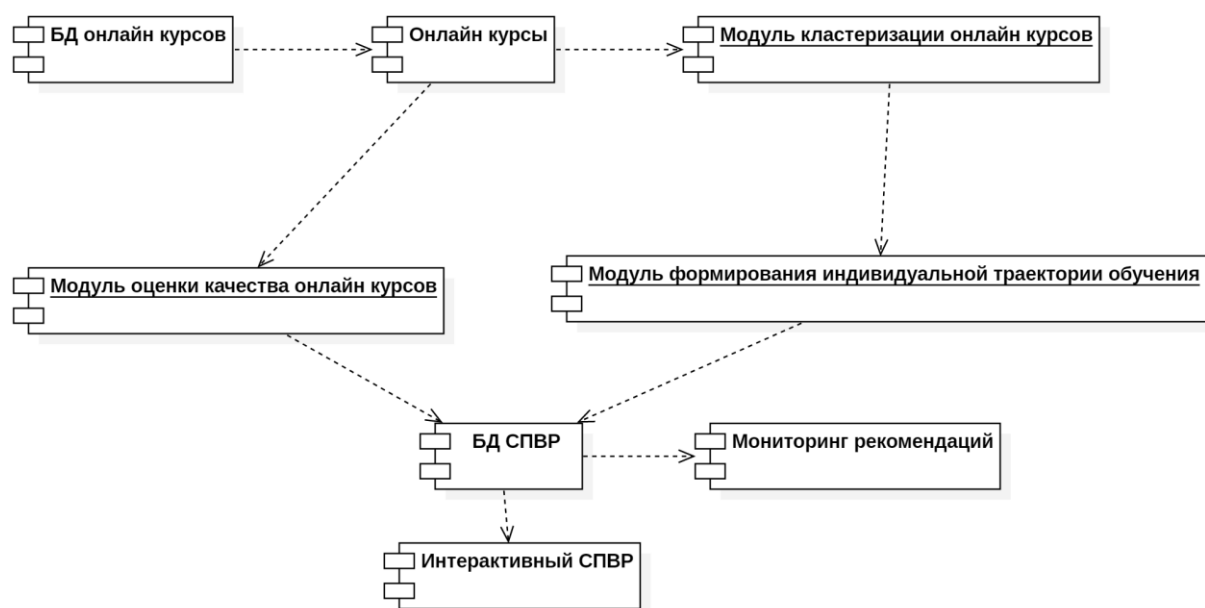


Рисунок 24 – Целевая схема решения СПВР по формированию индивидуальной траектории электронного обучения

Источник: разработано автором

Структурная схема программной системы представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Описание программных модулей

Имя модуля	Идентификатор модуля	Краткое описание
backend	Manage.py	Главная форма
accounts	Models.py	Форма моделей
accounts	Views.py	Вид программы
accounts	Tests.py	Форма теста
accounts	Forms.py	Форма
accounts	Admin.py	Форма администрации
accounts	migrations	Миграция данных о курсах
core	Settings.py	Настройка соединения
courses	Admin.py	Форма записи курсов
courses	Forms.py	Формы проекта

Имя модуля	Идентификатор модуля	Краткое описание
courses	models.py	Форма моделей курсов
courses	Views.py	Форма вида курсов
private	Main.css	Работа с бутстрапером
static	main.js	Работа с фоном проекта

Источник: разработано автором

Модульная архитектура СПВР представлена на рисунке 25.

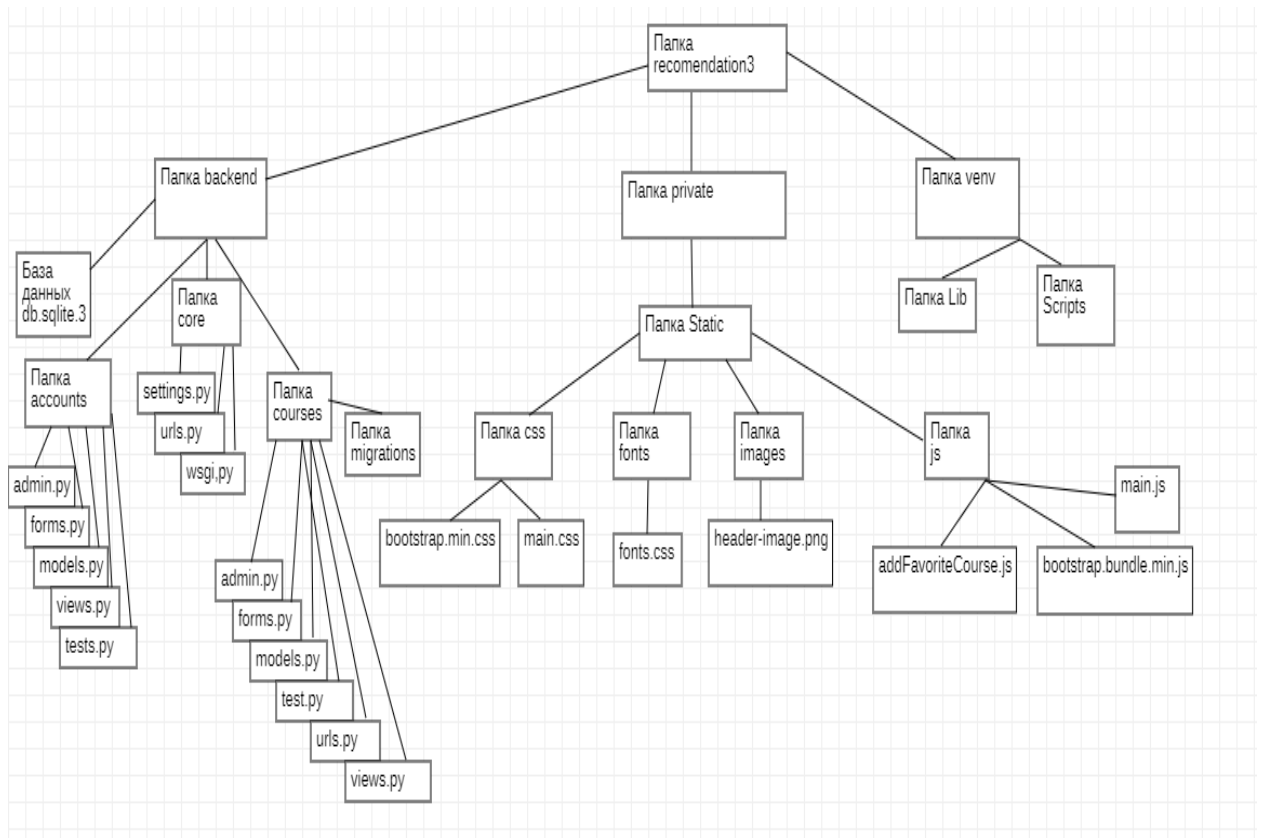


Рисунок 25 – Модульная архитектура СПВР

Источник: разработано автором

3.4 Оценка эффективности внедрения СПВР по формированию индивидуальной траектории электронного обучения

Для демонстраций экономической эффективности онлайн-курсов была произведена калькуляция себестоимости аналогичных курсов в онлайн- и офлайн-вариантах и выполнена статистическая обработка результатов.

В таблицах 21 и 22 представлена калькуляция себестоимости онлайн- и офлайн-курсов, включающая расчет оплаты труда преподавателей, АУП, социальные отчисления на фонд заработной платы и накладные расходы. Себестоимость курса зависит от количества часов обучения. Расчеты проведены для шести курсов.

Таблица 21 – Калькуляция себестоимости онлайн-курсов

В рублях

Курс	Кол-во часов	Количество обучающихся	Оплата труда преподавателей	Оплата труда АУП	Социальные отчисления	Накладные расходы	Итого
Статистический анализ данных	96	120	120000	24000	47520	19380	210900
Алгоритмы и структуры данных	64	68	68000	13600	26928	37972	146500
Веб-технологии	48	36	36000	7200	14256	17544	75000
Веб-программирование	48	35	35000	7000	13860	13620	69480
Представление и использо	64	105	105000	21000	41580	22760	190340

Курс	Кол-во часов	Количество обучающихся	Оплата труда преподавателей	Оплата труда АУП	Социальные отчисления	Накладные расходы	Итого
вание знаний							
Информатика и программирование	96	130	130000	26000	51480	20520	228000

Источник: разработано автором

В связи с наличием различий себестоимость отдельных курсов варьируется, что наглядно видно на диаграмме размаха, представленной на рисунке 26. Видно, что вариация себестоимости онлайн- и офлайн-вариантов курсов схожа, при этом медиана выше для офлайн-обучения.

Таблица 22 – Калькуляция себестоимости офлайн-курсов

Размеры в рублях

Курс	Кол-во часов	Количество обучающихся	Оплата труда преподавателей	Оплата труда АУП	Социальные отчисления	Накладные расходы	Итого
Анализ данных	96	120	144 000	28 800	57024	90 176	320 000
Алгоритмы и структуры данных	64	68	81 600	16 320	32 313,6	110 266,4	240 500
Веб-технологии	48	36	43 200	8640	17 107,2	111 052,8	180 000
Веб-программирование	48	35	42 000	8400	16 632	31 568	98 600
Представление и использование знаний	64	105	126 000	25 200	49 896	49 244	250 340
Информатика и программирование	96	130	156 000	31 200	61 776	61 024	310 000

Источник: разработано автором

Несмотря на то, что визуально определяются различия в значениях себестоимости онлайн- и офлайн-вариантов курсов, для того чтобы выводы были обоснованными, требуется подтверждение статистической значимости различий. Для определения того, каким статистическим тестом необходимо воспользоваться для сравнения себестоимостей, необходимо выяснить, подчиняются ли данные нормальному распределению. Для этого воспользуемся основными и наиболее мощными тестами: Колмогорова-Смирнова (с коррекцией уровня значимости по Лильефорс) и Шапиро-Уилка. Результаты тестирования представлены в таблице 3.

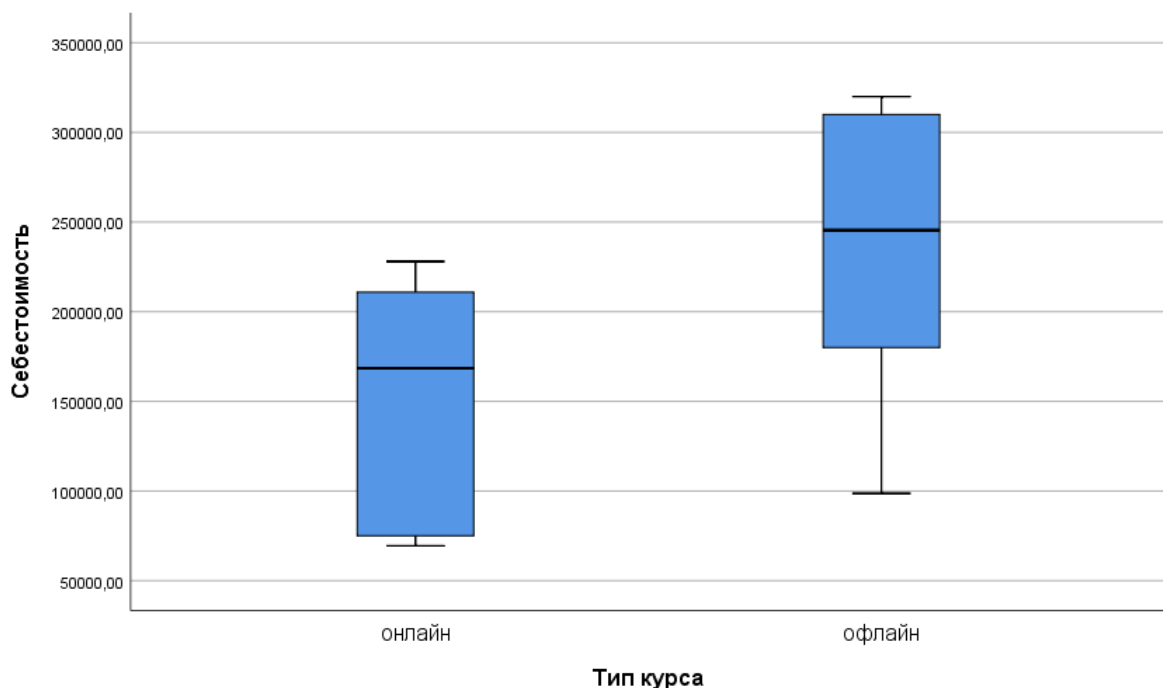


Рисунок 26 – Диаграмма размаха себестоимости онлайн- и офлайн-курсов

Источник: разработано автором

Как видно из таблицы 23, для себестоимостей курсов в обеих группах оба статистических критерия не позволяют отвергнуть гипотезу о том, что данные являются выборкой из нормально распределенной совокупности ($p > 0,1$). Таким образом, можем считать данные о себестоимостях распределенными нормально, что позволяет применить для сравнения групп t-тест равенства средних Стьюдента

для независимых выборок (так как группы онлайн- и офлайн-курсов являются независимыми друг от друга).

Таблица 23 – Тестирование показателей себестоимости курсов на нормальность распределения

Показатель	Критерий Колмогорова-Смирнова			Критерий Шапиро-Уилка		
	Статистика	df	p	Статистика	df	p
Себестоимость офлайн	0,207	6	0,200	0,883	6	0,282
Себестоимость онлайн	0,201	6	0,200	0,930	6	0,580

Источник: разработано автором

В таблице 24 представлены описательные статистики себестоимости обучения в онлайн- и офлайн-форматах. Средняя себестоимость онлайн-обучения составляет 153 370 рублей при стандартном отклонении 68 516,72 руб., а для офлайн обучения – 233 240 рублей при стандартном отклонении 83 338,99 руб. Согласно t-критерию, стоимость офлайн-обучения статистически значимо превышает стоимость онлайн обучения ($p = 0,047$, односторонний уровень значимости оценен с применением бутстрэп-оценивания по 5000 выборок; применение бутстрэп-оценивания связано с малым числом наблюдений в обеих группах). Асимметрия и эксцесс невелики в обеих группах. Модальные значения в обеих группах меньше средних, медианные – напротив, выше. Однако такие различия могут быть связаны с малым числом наблюдений.

Таблица 24 – Описательные статистики себестоимости онлайн- и офлайн-курсов

Себестоимость	Онлайн	Офлайн
n	6	6
Среднее	153 370,00	233 240,00
t-критерий сравнения средних	2,08 ($p = 0,047$)	
Мода	69 480,00	98 600,00

Себестоимость		Онлайн	Офлайн
Стандартное отклонение		68 516,72	83 338,99
Коэффициент асимметрии		-0,39	-0,77
Коэффициент эксцесса		-2,09	-0,04
Минимум		69 480,00	98 600,00
Максимум		228 000,00	320 000,00
Квартили	25	73 620,00	159 650,00
	50 (медиана)	168 420,00	245 420,00
	75	215 175,00	312 500,00

Источник: разработано автором

Таким образом, проведенная калькуляция и сравнение себестоимостей онлайн- и офлайн-обучения позволяет сделать вывод о том, что в среднем онлайн-обучение обладает меньшей себестоимостью по сравнению с офлайн-вариантом при аналогичных курсах.

Для оценки влияния формата обучения (онлайн или офлайн) на качество обучения, выраженное в баллах, набираемых обучающимися за разные виды учебной активности, был проведен статистический анализ данных. Исходные данные успеваемости обучающихся представлены в таблице 3.4.5. Вид обучения, равный единице, соответствует онлайн-формату, ноль – офлайн-формату. На рисунках 27–29 представлены диаграммы размаха баллов, полученных обучающимися на лабораторных занятиях по веб-программированию. Диаграммы по остальным видам учебной активности представлены в Приложении Д.

В таблице 25 представлена описательная статистика и результаты сравнения баллов по критерию Манна-Уитни по курсу «Веб-программирование». Статистически значимое различие наблюдается только при контрольном мероприятии «Чат», причем в случае онлайн-обучения средний и медианный балл выше, чем в офлайн-варианте.

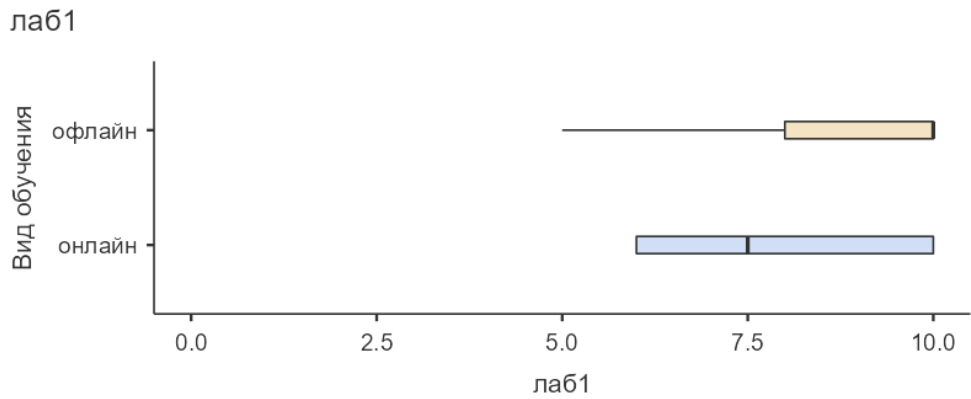


Рисунок 27 – Диаграмма размаха баллов за выполнение первой лабораторной работы по веб-программированию, по форматам обучения

Источник: разработано автором

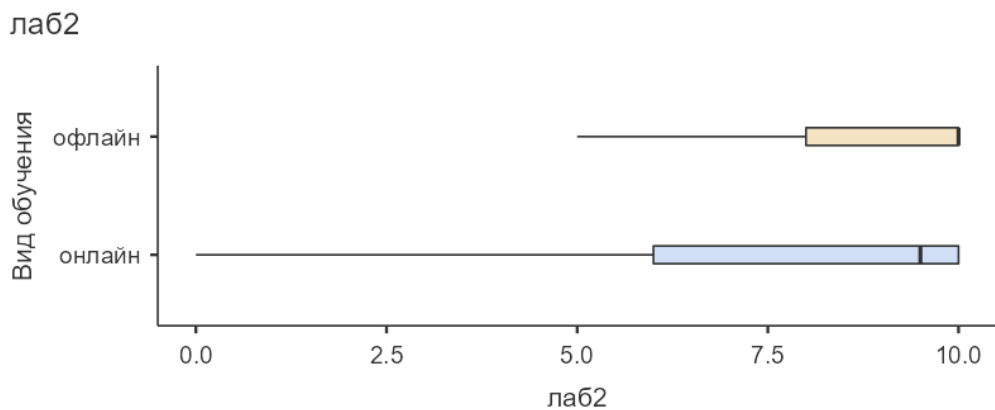


Рисунок 28 – Диаграмма размаха баллов за выполнение второй лабораторной работы по веб-программированию, по форматам обучения

Источник: разработано автором

В приложении Д представлены таблицы с аналогичными результатами по остальным рассматриваемым курсам: «Веб-технологии», «Алгоритмы и структуры данных», «Анализ данных», «Информатика и программирование», «Представление и использование данных».

Таким образом, проведенный статистический анализ позволяет сделать вывод о том, что эффективность процесса обучения, выраженная в полученных студентами баллах, не различается для онлайн- и офлайн-обучения.

Таблица 25 – Успеваемость обучающихся по курсу «Веб-программирование»

Показатели		лекции	опрос по теме	лаб1	лаб2	лаб3	лаб4	тест	1 кт	лаб5	лаб6	Инд. проект	Чат	2 к.т.	экзамен
Офлайн-обучение															
Количество студентов		14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	9,00	9,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Среднее		11,71	6,79	8,43	8,43	8,00	7,14	24,57	75,07	14,67	13,89	36,07	6,14	60,57	67,821
Мода		16,00	9,00	10,00	10,00	10,00	10,00	21,00	92,00	15,00	15,00	45,00	7,00	87,00	10,50
Стандартное отклонение		6,69	4,01	2,87	2,87	2,75	4,15	2,34	20,71	1,00	2,21	19,82	3,54	32,47	25,89
Минимум		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,00	21,00	12,00	10,00	0,00	0,00	0,00	10,50
Максимум		16,00	13,00	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	92,00	15,00	15,00	60,00	10,00	97,00	94,50
Квартили	25 %	7,50	3,50	7,75	7,75	7,75	3,75	22,50	68,50	15,00	12,50	20,00	5,25	32,75	51,75
	50 % (медиана)	16,00	8,00	10,00	10,00	8,00	10,00	25,00	81,00	15,00	15,00	45,00	7,00	68,50	74,75
	75 %	16,00	9,25	10,00	10,00	10,00	10,00	26,25	90,25	15,00	15,00	51,25	7,75	88,25	89,75
Онлайн-обучение															
Количество студентов		11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11	11,00	10,00	8,00	11,00	8,00	11,00	11,00
Среднее		13,73	6,91	9,18	8,91	9,18	7,91	23,45	79,27	14,20	14,63	41,36	8,25	70,91	75,09
Мода		12,00	4,00	10,00	10,00	10,00	10,00	18,00	76,00	15,00	15,00	30,00	7,00	37,00	81,50
Стандартное отклонение		2,01	2,43	1,47	1,37	1,16	4,01	4,45	5,36	1,75	1,06	11,64	1,38	19,34	10,41
Минимум		10,00	4,00	6,00	7,00	7,00	0,00	18,00	68,00	10,00	12,00	30,00	7,00	37,00	52,5

Показатели		лекци и	опрос по теме	лаб1	лаб2	лаб3	лаб4	тест	1 кт	лаб5	лаб6	Инд. проект	Чат	2 к.т.	экзамен
Максимум		16,00	11,00	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	87,00	15,00	15,00	60,00	10,00	94,00	88,00
Онлайн-обучение															
Квартили	25 %	12,00	4,00	8,00	7,00	8,00	7,00	18,00	76,00	14,25	15,00	30,00	7,00	60,00	70,00
	50 % (медиана)	14,00	6,00	10,00	10,00	10,00	10,00	26,00	80,00	15,00	15,00	40,00	8,00	75,00	76,00
	75 %	16,00	9,00	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	84,00	15,00	15,00	55,00	9,75	87,00	81,50
U Манна-Уитни		57,00	51,00	41,00	40,50	26,00	40,000	52,00	39,00	32,00	18,00	51,50	33,00	41,50	36,00
p		0,81	0,52	0,148	0,166	0,01	0,13	0,57	0,15	0,197	0,28	0,54	0,74	0,21	0,11

Источник: разработано автором

Выводы по 3 главе

а) Разработана онтологическая модель электронного обучения. Онтологическая модель позволяет структурировать описание онлайн-курсов в соответствии с компетенциями и создать базу знаний СПВР. Использование онтологического подхода в системах выдачи рекомендации учебных материалов с учетом семантического анализа их содержания позволит повысить эффективность и результативность процесса онлайн-обучения и способствовать повышению уровня его персонализации.

б) Разработана архитектура СПВР по выбору онлайн-курсов для их включения в траекторию онлайн-обучения обучающегося. Применение разработанной архитектуры позволяет сократить время на формирование индивидуальной траектории обучения, обеспечивает высокую точность, гибкость системы.

в) Разработан и внедрен компьютерный инструментарий – СПВР по выбору и формированию индивидуальной траектории электронного обучения. Предложены рекомендации по внедрению компьютерного инструментария, а именно: способ создания индивидуальной траектории обучения и построение микросервисной архитектуры, которая учитывает возможность работы с большими данными.

г) Разработана оценка эффективности внедрения СПВР по формированию индивидуальной траектории обучения, показывающая достаточно высокие как качественные, так и количественные показатели КРІ. Данный анализ показателей электронного обучения позволил сделать вывод об эффективном внедрении СПВР.

Заключение

В соответствии с поставленной во введении целью в диссертации исследованы несколько задач.

а) На основании обобщения и анализа существующей отечественной и зарубежной литературы дано определение персонализированному электронному обучению, как сложной системы, включающей индивидуальную траекторию, которая адаптируется к предпочтениям и навыкам обучающегося. В результате исследования удалось сделать вывод, что в основу персонализации должен быть положен современный компьютерный инструментарий – СПВР по формированию индивидуальной траектории обучения, который позволит повысить эффективность электронного обучения.

б) Во 2-й главе представлен обзор методов и моделей принятия решений для многокритериального выбора и оценки качества онлайн-курсов по формированию индивидуальной траектории электронного обучения. Проведен анализ MOOK-платформ по критерию функциональной полноты. Сделан вывод, что целесообразно и экономически эффективно проводить самостоятельную разработку индивидуальной траектории электронного обучения. Предварительно разработана кластерная модель по многокритериальному выбору онлайн-курсов. В результате выявлены группы кластеров с максимально близкими онлайн-курсами для дальнейшего формирования индивидуальной траектории обучения по предпочтениям и характеристикам обучающегося. Разработана методика формирования индивидуальной траектории электронного обучения с учетом предпочтений и навыков, а также с возможностью адаптации к уровню сложности онлайн-курса в зависимости от текущей успеваемости обучающегося. Разработаны модель и алгоритм для выбора MOOK и комплексной оценки качества онлайн-курсов. Интегральный показатель качества включает в себя набор критериев,

относящихся к содержанию и системным требованиям, а также к удовлетворенности обучающегося онлайн-курсом.

в) В 3-й главе разработана онтологическая модель СПВР по формированию индивидуальной траектории электронного обучения. Онтологическая модель позволяет структурировать описание онлайн-курсов в соответствии с компетенциями и создать базу знаний СПВР, реализующей выбор онлайн-курсов для включения их в индивидуальную траекторию обучения. Разработана архитектура СПВР по выбору онлайн-курсов для их включения в траекторию онлайн-обучения обучающегося. Разработан и внедрен компьютерный инструментарий – СПВР по выбору и формированию индивидуальной траектории электронного обучения. Предложена оценка эффективности внедрения СПВР по формированию индивидуальной траектории обучения.

Список сокращений и условных обозначений

Индивидуальная траектория онлайн-обучения – последовательность онлайн-курсов, которые предназначены для помощи студенту в получении или улучшении своих знаний или навыков в конкретной предметной области.

Кастомизация – это индивидуализация онлайн-курсов под личные потребности обучающегося.

Массовые открытые онлайн-курсы – инструмент персонализации онлайн-обучения.

Обучающая система – система, предназначенная для обучения пользователей.

Онлайн информационная образовательная среда – совокупность электронных информационных и образовательных ресурсов, информационных и телекоммуникационных технологий и средств, обеспечивающих освоение обучающимися образовательных программ.

Персонализированное онлайн-обучение – это обучение, включающее индивидуальную траекторию онлайн-обучения.

ПО – программное обеспечение.

РИНЦ – российский индекс научного цитирования.

Система управления онлайн-обучением – это платформа или программное приложение, предназначенные для интеграции инструментов обучения, а также администрирования, управления и распространения образовательных и информационных материалов, формирования аналитики и отчетности.

Система поддержки выдачи рекомендации по формированию индивидуальной траектории обучения – система поддержки выдачи рекомендаций (информационная система), целью которой является выдача рекомендаций заказчику, принимающему решение в условиях формирования индивидуальной траектории обучения для полного и объективного выбора онлайн-курсов.

СУБД – система управления базами данных.

T-критерий Стьюдента – общее название для класса методов статистической проверки гипотез (статистических критериев), основанных на распределении Стьюдента.

Учебный модуль – это структурная единица, часть учебного курса, посвящённая определенной теме.

API – Application programming interface, описание способов, которыми одна компьютерная программа может взаимодействовать с другой программой.

KPI – Key performance indicators, ключевые показатели эффективности

OWA Ягера – оператор агрегирования четких значений при принятии решения схемы принятия решений

OWL – web ontology language, язык описания онтологий для семантической паутины.

Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью.

Список литературы

Нормативные правовые акты

1. «Об утверждении национального стандарта Российской Федерации «Информационно-коммуникационные технологии в образовании: Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28.09.2017 г. № 1256 : – Текст : электронный // Электронный фонд правовой и норматив.-техн. информ. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200156825> (дата обращения: 14.04.2023). – Режим доступа : по подписке.
2. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 год: Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 : - Текст : электронный // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_380244/95306fd63c6d78809f4ae93a22b776b264fcb0d7/ (дата обращения: 14.04.2023). – Режим доступа : по подписке.
3. «Об образовании в Российской Федерации: Статья 16 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 273 (ред. от 17.02.2023) : - Текст : электронный // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 14.04.2023). – Режим доступа : по подписке.
4. «Об образовании в Российской Федерации : Статья 18 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 273 (ред. от 17.02.2023) : - Текст : электронный // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 14.04.2023). – Режим доступа : по подписке.
5. «О национальных целях и стратегических задачах развития российской федерации на период до 2024 года»: Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 : - Текст : электронный // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. – URL: <https://mvd.consultant.ru/documents/1056500> (дата обращения: 14.04.2023). – Режим доступа : по подписке.

Монографии, учебники, статьи, электронные ресурсы

6. Агрегатор онлайн-курсов: [сайт]. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://katalog-kursov.ru> (дата обращения 10.04.2023). – Текст : электронный.
7. Бугайчук, К.Л. Массовые открытые дистанционные курсы: история, типология, перспективы / Высшее образование в России. – 2013. – – Москва. 2013. № 3. – С. 148-155. – ISSN: 0869-3617. – Текст : непосредственный.
8. Долженко, А.И. Нечеткие модели потребительского качества информационных систем / Вестник Ростовского государственного экономического университета «РИНХ». – 2006. – – Ростов-на-Дону. 2006. – № 2(22). – С.121-123. – Ежекв. – ISSN:1991-0533. – Текст : непосредственный.
9. Долженко, А.И. Нечеткие модели – эффективный инструментарий для анализа потребительского качества информационных систем: монография / А.И. Долженко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Ростовский государственный экономический университет. – Ростов-на-Дону: РГЭУ, 2008. – 220 с.: ил. ;20 см. – 200 экз. – ISBN: 978-5-7972-11-2. – Текст : непосредственный.
10. Долженко, А.И. Нечеткие методы и модели оценки потребительского качества веб-ориентированных информационных систем: теория, методология и инструментарий: специальность 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики»: диссертация на соискание доктора экономических наук / Долженко Алексей Иванович. – Ростов-на-Дону, 2008. – 293 с. – Текст : непосредственный.
11. Золотухин Сергей Александрович Типы взаимодействия с обучающимися в компьютерно-опосредованном обучении / Russian Journal of Education and Psychology. – 2013. – №5(25). – С.22-23. – Ежекв. – ISSN: 2218-7405. – doi: 10.12731/2218-7405-2013-5-22 – Текст : электронный.
12. Кацман, В.Е. Основы оценочной деятельности: учебное пособие / В.Е. Кацман, И.В. Косорукова, А.Ю. Родин, С.В. Харитонов – М.: Московский

финансово-промышленный университет «Синергия». 2012. – 336 с. – ISBN: 978-5-4257-0070-4. – Текст : непосредственный.

13. Кемени, Дж., Снелл Дж. Кибернетическое моделирование (некоторые приложения) / Советское радио. – 1972. – – Москва. 1972. – 192 с. – Текст : непосредственный.

14. Лю, Ф. Дж. Система рекомендаций электронного обучения, основанная на учебной деятельности. Материалы девятого международного симпозиума IEEE по мультимедийным семинарам. – 2007. – – Москва. 2007. С. 343–348. – Текст : непосредственный.

15. Мельник, М.В. Теория экономического анализа: учебное пособие для вузов. / Изд-во Юрайт. – Москва. 2015. – 238 с. – ISBN: 978-5-534-14862-6. – Текст: непосредственный.

16. Мур, М. Г. Три типа взаимодействия / Distance Educ. – Москва.1998. – №3. С. 1–7. – ISBN: 978-5-85341-708-3. Текст : непосредственный.

17. Комлева, Н.В. Модели и инструменты инновационного развития образования в открытой образовательной среде: монография / под ред. к-та экон. наук, Н.В. Комлевой: Изд-во МЭСИ. – Москва. 2013 – 199 с. – ISBN: 978-5-7764-0797-0. – Текст : непосредственный.

18. Комлева, Н. В., Тельнов Ю. Ф., Косоруков О. А., Тихонов С. В. Модели и информационные технологии в экономике и образовании / Изд-во МАТГР: ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова». – 2021. – – Москва. 2021. – 152 с. – ISBN: 978-5-7307-1848-7. – Текст : непосредственный.

19. Комлева, Н. В. «Цифровой тьютор» - платформа для создания онлайн-курсов / Плехановский научный бюллетень. – Москва. 2021. – № 1(19). – С. 35-44. – ISBN: 978-5-7307-1848-7. Текст : электронный.

20. Образовательная онлайн-платформа «Огарёв-University»: массовые открытые онлайн-курсы: [сайт]. – Мордовия. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://mooc.mrsu.ru/> (дата обращения 10.04.2020). – Текст : электронный.

21. Образовательная онлайн-платформа «Открытый политех»: [сайт]. – Санкт-Петербург. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://open.spbstu.ru/mooc/> (дата обращения 10.04.2020). – Текст : электронный.
22. Образовательная онлайн-платформа «CoreApp»: [сайт]. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://coreapp.ai/> (дата обращения 10.04.2023) – Текст : электронный.
23. Образовательная онлайн-платформа «Getcourse»: [сайт]. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://getcourse.ru/> (дата обращения 10.04.2023) – Текст : электронный.
24. Образовательная онлайн-платформа «Mirapolis LMS» [сайт]. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://platforms.su/platform/16375> (дата обращения 27.04.2020) – Текст : электронный.
25. Образовательная платформа «Moodle»: [сайт]. – Ростов-на-Дону. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://rsue.ru/oper-info/moodle.php> (дата обращения 10.04.2023). – Текст : электронный.
26. Образовательная онлайн-платформа «Stepik»: [сайт]. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://welcome.stepik.org/ru> (дата обращения 10.04.2023). – Текст : электронный.
27. Образовательная онлайн-платформа «Teachbase»: [сайт]. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://teachbase.ru/> (дата обращения 10.04.2023) – Текст : электронный.
28. Образовательная онлайн-платформа «We.Study»: [сайт]. – Москва. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://we.study/> (дата обращения 10.04.2020) – Текст : электронный.
29. Подиновский, В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач: учебное пособие / Изд-во Физматлит– Москва.1982. – 256 с. – ISBN: 978-5-9221-0812-6. Текст : непосредственный.

30. Результаты посещаемости платформ: [сайт]. – Москва. – URL: <https://www.similarweb.com/top-websites/category/science-and-education/education/> (дата обращения 10.04.2020). – Текст : электронный.

31. Салехи, М., Кмалабади И. Гибридная система рекомендаций на основе атрибутов для рекомендации материалов для электронного обучения / IERI. – Москва. 2012. – № 2. – С. 565–570. Текст : непосредственный.

32. Середкина Т. А. Семантические технологии в системе поддержки онлайн-обучения / Прикладная информатика. – 2020. – – Москва. 2020. – № 5(89). – С. 52-61. – Каждые 3 мес-ца. – ISSN: 1993-8314. –Текст : электронный.

33. Уринцов, А. И., Староверова О. В., Макаренко Е. В. Государственная политика России, направленная на развитие цифровых образовательных платформ в условиях пандемии / Человеческий капитал и профессиональное образование. – 2021. – № 3(37). – С. 77-84. – ISSN: 2412-8988. – Текст : непосредственный.

34. Уринцов, А. И., О. В. Староверова, Е. С. Свиридова Смешанное образование студентов - перспективный вектор развития традиционного обучения / Вестник экономической безопасности. – 2018. – – Москва.2018. – № 4. – С. 334-337. – ISSN: 2414-3995. – Текст : непосредственный.

35. Уринцов, А. И., Павлековская, И. В., Селетков С. Н. Управление знаниями. Теория и практика : учебник / Изд-во Юрайт: ФГБОУ ВО Российский экономический ун-т им. Г.В. Плеханова». – 2019. – – Москва.2019. – 255 с. – ISBN: 978-5-9916-3573-8. – Текст : непосредственный.

36. Хубаев, Г.Н. Сравнение сложных программных комплексов по функциональной полноте / Программные продукты и системы. – 1998. – № 2. – С. 6-9. – Текст : непосредственный.

37. Хуторской, А.В. Дидактическая эвристика: Теория и технология креативного обучения / Изд-во МГУ. – 2003. – Москва. – 416 с. – ISBN: 5-211-04710-9. – Текст : непосредственный.

38. Центр компетенций Национальной технологической инициативы по направлению «Новые производственные технологии» на базе института передовых

технологий университета П. Великого: официальный сайт. Санкт-Петербург. – Обновляется в течение суток. политехнического университета Петра Великого. – URL: <https://nticenter.spbstu.ru/courses/open> (дата обращения 5.02.2024). – Текст : электронный.

39. Шкодина, Т.А. Анализ функциональной полноты систем онлайн-обучения / Вектор наук Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление – 2020. – Москва. – № 4(43). – С. 56-64. – ISSN: 2221-5689. – Текст : непосредственный.

40. Шкодина, Т.А. Проблемы электронного обучения / Информатизация в цифровой экономике – 2020. – Москва. 2020. – Т. 1. – № 4. – С. 133–140. – ISSN: 2712-9306. – Текст : непосредственный.

41. Шкодина, Т.А. Разработка архитектуры рекомендательной системы по выбору онлайн-курсов / Прикладная информатика. – 2022. – Москва. 2022. – № 4(100). – С. 87-96. – ISSN: 1993-8314. – Текст : непосредственный.

42. Шкодина, Т.А., Шполянская И.Ю. Семантические технологии в системе поддержки онлайн-обучения / Прикладная информатика. – 2020. – Москва. 2020. – № 5 (89). С. 52-61. – ISSN: 1993-8314. – Текст : непосредственный.

43. Шкодина, Т.А. Формирование индивидуальной траектории онлайн-обучения на основе кластерного анализа / Прикладная информатика. – 2023. – Москва. 2023. – № 2. – С. 4-15. – ISSN: 1993-8314. – Текст : непосредственный.

44. Шполянская, И. Ю. Информационные системы для малого бизнеса: проблемы качества / Вестник Ростовского государственного экономического университета «РИНХ» – 2006. – Ростов-на-Дону. 2006. – № 2(22). – С. 132-142. – Текст : непосредственный.

45. Электронная образовательная платформа на базе Moodle: [сайт]. – Ростов-на-Дону. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://rsue.ru/oper-info/moodle.php> (дата обращения 10.04.2023). – Текст : электронный.

46. Ян, К., Сун Дж., Ван Дж., Цзинь З. Система персонализированных рекомендаций на основе семантической сети для исследования знаний о курсах.

Материалы Международной конференции по интеллектуальным вычислениям и когнитивной информатике. : Российская ассоциация искусственного интеллекта. – 2010. – Москва.2010. – С. 214–217. – Текст : непосредственный.

Зарубежная литература

47. Abbar, S., Bouzeghoub M., Lopez S. Context-aware recommender systems: a service oriented approach / Proceedings of the 3rd International Workshop on Personalized Access, Profile Management and Context Awareness in Databases – 2009. – URL : https://www.researchgate.net/publication/236943394_Context-Aware_Recommender_Systems_a_service_oriented_approach (дата обращения: 6.02.2024). – Текст : непосредственный.

48. Al-Hmouz, A., Shen J., Yan J., Al-Hmouz R. Enhanced learner model for adaptive mobile learning / Proceedings of the 12th international conference on information integration and web-based applications and services. – 2010. – P. 783–786. doi:10.28945/1825. – Текст : электронный.

49. Andersson, A. Gronlund, A. A Conceptual Framework for E-Learning in Developing Countries: A Critical Review of Research Challenges // Information Systems in Developing Countries. – 2009. – Vol. 38. – P. 1-16. doi: 10.28945/1825. – Текст : непосредственный.

50. Bachari, E. E., Abelwahed E. H, Adnani M. E. E-Learning Personalization Based on Dynamic Learners / International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT). – 2011. – Vol. 3(3). – P. 200-216. doi: 10.5121/ijcsit.2011.3314. – Текст : непосредственный.

51. Bakry, H. M., Saleh A. A., Asfour T. T., Mastorakis N. A New Adaptive e-Learning Model Based on Learner's Styles / Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering. – 2011. – P. 440–448. doi: 10.12928/eei.v2i4.189 – Текст : непосредственный.

52. Beldagli, B., Adiguzel T. Illustrating an ideal adaptive e-learning: A conceptual framework // *Procedia - Soc. Behav. Sci.* – 2010. Vol. 2(2), P. 5755–5761. doi: 10.1016/j.sbspro.2010.03.939. – Текст : электронный.
53. Biletskiy, Y., Baghi, H., Keleberda, I., Fleming, M. An adjustable personalization of search and delivery of learning objects to learners / *Expert Systems with Applications.* – 2009. – Vol. 36(5). – P. 9113 – 9120. ISSN: 1992-8645. – Текст: непосредственный.
54. Bocker, H., Hohl H., Schwab T. Upsilon-pi-ADAPT-epsilon-rho: Individualizing Hypertext / *Proceedings of the IFIP TC13 Third International Conference on Human-Computer Interaction, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands.* – 1990. – P. 931–936. URL: <https://www.researchgate.net/publication/337160143> (дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.
55. Bousbahi, F., Chorfi, H. MOOC-Rec: A Case Based Recommender System for MOOCs / *Procedia - Social and Behavioral Sciences.* – 2015. – Vol. 195. – P. 1813–1822. doi:10.1016/j.sbspro.2015.06.395. – Текст : непосредственный.
56. Brusilovsky, P. Adaptive Hypermedia / *User Modeling and User-Adapted Interaction.* – 2009. – Vol. 11(1). – P. 87–110. doi: 10.1023/A:1011143116306. – Текст: непосредственный.
57. Brusilovsky, P. Millan, E. User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems / *The Adaptive Web.* – 2007. – P. 3–53. doi: 10.1007/978-3-540-72079-9_1. – Текст : непосредственный.
58. Burke, R. Hybrid recommender systems: survey and experiments user Modeling and user-Adapted Interaction. – 2002. – Vol. 12 (4). – P. 331-370. doi:10.1023/A:1021240730564. – Текст : непосредственный.
59. Cavus, N. The evaluation of Learning Management Systems using an artificial intelligence fuzzy logic algorithm / *Advances in Engineering Software.* – 2010. – Vol. 41. – P. 248-254. doi:10.1016/j.advengsoft.2009.07.009. – Текст : непосредственный.

60. Chen, C.-M. Intelligent web-based learning system with personalized learning path guidance / *Computers & Education*. – 2008. – Vol.51(2). – P. 787-814. doi: 10.1016/j.compedu.2007.08.004. – Текст : непосредственный.
61. Chen, W., Niu, Z., Zhao, X., Li, Y. A hybrid recommendation algorithm adapted in e-learning environments / *World Wide Web*. – 2012. – Vol. 17(2). – P. 271 – 284. doi: 10.1007/s11280-012-0187-z. – Текст : непосредственный.
62. Conati, C., Gertner, A., VanLehn, K. Using Bayesian Networks to Manage Uncertainty in Student Modeling / *User Model. User-Adapt. Interact.* – 2002. – Vol. 12(4). – P. 371–417. doi:10.1023/A:1021258506583. – Текст: непосредственный.
63. Covella, G. J., Olsina S. A. Specifying quality characteristics and attributes for ELearning sites / *IV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. – 2002. – P.160-164. – ISSN: 1666-6526. – Текст : непосредственный.
64. Croitoru, M., Dinu, C. A Critical Analysis of Learning Management Systems in Higher Education Economy Informatics / *Economy Informatics*. – 2016. – Vol. 16. – P.1-10. doi:10.18323/2221-5689-2020-4-56-64. – Текст : непосредственный.
65. Cybulski, J. Linden T. Learning systems design with UML and patterns / *IEEE Transactions on Education*. – 2000. – Vol.43. – P. 372-376. doi:10.1109/13.883344. – Текст : электронный.
66. Dascalu, M.I., Bodea C.N., Mihailescu M. N., Tanase, E. A., Pablos, P. O. D. Educational recommender systems and their application in lifelong learning / *Behaviour & Information Technology*. – 2016. – Vol. 35(4). – P. 290–297. doi: 10.1080/0144929X.2015.1128977. – Текст : электронный.
67. Dharshini A. P., Chandrakumarmangalam S., Arthi G. Ant colony optimization for competency based learning objects sequencing in e-learning / *Applied Mathematics and Computation*. – 2015. – Vol. 263. – P. 332-341. doi:10.1016/j.amc.2015.04.067. – Текст : электронный.
68. Dias, A., Wives K. Recommender system for learning objects based in the fusion of social signals, interests, and preferences of learner users in ubiquitous e-learning

systems / *Personal and Ubiquitous Computing*. – 2019. – Vol. 23. – P. 345-386. doi:10.1007/s00779-018-01197-7. – Текст : электронный.

69. Drachsler, H., Verbert K., Santos O. C., Manouselis N. *Panorama of Recommender Systems to Support Learning / Recommender Systems Handbook*. – 2015. – P. 421–451. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/55538979.pdf> (дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.

70. El-Bakry, H. M. Saleh A. A., Asfour T. T., Mastorakis N. *A New Adaptive e-Learning Model Based on Learner's Styles / Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering*. – 2011. – P. 440–448. doi:10.12928/eei.v2i4.189. – Текст : электронный.

71. Eyharabide, V., Gasparini I., Schiaffino S., Pimenta M., Amandi A. *Personalized e-Learning Environments: Considering Students' Contexts Education and Technology for a Better World / IFIP Advances in Information and Communication Technology, Avstria*. – Avstria. 2009. – P. 48-57. doi: 10.1007/9783-6420-3115-1_5. – Текст : электронный.

72. Gomez, P., Corcho O. *Ontology Specification Languages for the Semantic Web / IEEE Intelligent Systems*. – 2002. – Vol. 17(1). – P. 54–60. doi: 10.1109/5254.988453. – Текст : электронный.

73. Gulzar, Z., Leema A., Deepak G. *Personalized Course Recommender System Based on Hybrid Approach / Procedia Computer Science*. – 2018. – Vol. 125. – P. 518–524. doi:10.1016/j.procs.2017.12.067. – Текст : электронный.

74. Gulzar, Z.A, Raj L. A., Leema A. A. *Ontology Supported Hybrid Recommender System with Threshold Based Nearest Neighbourhood Approach / International Journal of Information and Communication Technology Education*. – 2019. – Vol.15(2). – P. 85–107. doi: 10.4018/ijicte.2019040106. – Текст : электронный.

75. Herlocker J., Konstan J., Borchers A., Riedl J. *An Algorithmic Framework for Performing Collaborative Filtering / Proceedings of the 22nd annual Int. ACM SIGIR Conf. on Research and development in information retrieval, Minnesota*. – Minnesota. 1999. – P. 230–237. doi:10.1145/3130348.3130372. – Текст : электронный.

76. Hong J., Suh E.-H., Kim J., Kim S. Context-aware system for proactive personalized service based on context history / *Expert Systems with Applications*. – 2009. – Vol. 36. – P. 7448-7457. doi: 10.1016/j.eswa.2008.09.002. – Текст : электронный.
77. Hwang G.J., Kuo F.R., Yin P.-Y., Chuang K.H. A Heuristic Algorithm for planning personalized learning paths for context-aware ubiquitous learning / *Computers and Education*. – 2010. – Vol. 54. – P. 404-415. doi: 10.1016/j.compedu.2009.08.024. – Текст : электронный.
78. Imran, H., Belghis-Zadeh M., Chang T.-W., Kinshuk G. A personalized learning object recommender system / *Vietnam Journal of Computer Science*. – 2015. – Vol. 3(1). – P. 3–13. doi: 10.1007/s40595-015-0049-6. – Текст: электронный.
79. ISO IEEE 1484.11.2. Международный (зарубежный) стандарт. «SCORM 2004 ECMAScript API For Content To Runtime Services Communication». — URL: <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso-iec:tr:29163:-3:ed-1:v1:en> (дата обращения: 14.04.2023). – Режим доступа : по подписке.
80. ISO 9241-210-2010. Международный (зарубежный) стандарт. «Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems» (UNI UNI EN ISO 9241-210-2010). — URL: <https://www.iso.org/standard/52075.html> (дата обращения: 14.04.2023). – Режим доступа : по подписке.
81. ISO TR 18529-2000. Международный (зарубежный) стандарт. «Ergonomics - Ergonomics of human-system interaction // Human-centred lifecycle process descriptions» (ISO TR 18529-2000). — URL: <https://www.iso.org/standard/77520.html> (дата обращения: 14.04.2023). – Режим доступа : по подписке.
82. Jiang, W., Pardos Z. A., Wei Q. Goal-based Course Recommendation / *Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics and Knowledge, California*. – California. 2019. – P. 36–45. – doi: 10.1145/3303772.3303814. – Текст : электронный.

83. Karthik, R. The organisational structure of protein networks: revisiting the centrality-lethality hypothesis / *Syst Synth Biol.* – 2014. – Vol. 8(1). – P. 73-81. – doi: 10.1007/s11693-013-9123-5. – Текст : электронный.
84. Khubaev, G.N Assessment of the time required for the acquisition of knowledge / 5th International Scientific Conference «Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings», USA. – USA.2014. –P. 86-90. – URL: http://naukarus.ru/public_html/wp-content/uploads/GB/Conference%20November%2014%20-%20Part%203.pdf#page=9. (дата обращения: 8.02.2024) – Текст : электронный.
85. Krechetov, I., Romanenko V., Implementing the Adaptive Learning Techniques, *Voprosy obrazovaniya / Educational Studies.* – 2020. – № 2. – P. 252– 277. – doi:10.17323/1814-9545-2020-2-252-277. – Текст : электронный.
86. Kritikou, Y. Demestichas, P. Adamopoulou, E. Demestichas, K. Theologou M. Paradia M. User Profile Modeling in the context of web-based learning management systems / *Journal of Network and Computer Applications.* – 2008. – Vol. 31. – P. 603-627. – ISSN:603-627. doi: 10.1016/j.jnca.2007.11.006. – Текст : электронный.
87. Marcos, L., Martínez J. , Gutierrez J. Swarm intelligence in e-learning: a learning object sequencing agent based on competencies / *The Proceedings of the 10th annual conference on Genetic and evolutionary computation.* – 2008. doi: 10.1145/1389095.1389099. – Текст : электронный.
88. Mahnane, L., Laskri M., Trigano P. A Model of Adaptive e-learning Hypermedia System based on Thinking and Learning Styles / *Int. J. Multimed. Ubiquitous Eng.* – 2013. – Vol. 8(3). – P. 339–350. – URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:12450491>. (дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.
89. Mitrovic, A., Martin B., Mayo M. Using Evaluation to Shape ITS Design: Results and Experiences with SQL-Tutor User Model. *User-Adapt / Interact.* – 2002. – Vol. 12 (2). – P. 243–279. – doi:10.1023/A:1015022619307. – Текст : электронный.

90. O'Donnell, E., Lawless S., Sharp M., Wade V. A Review of Personalised E-Learning: Towards Supporting Learner Diversity / *International Journal of Distance Education Technologies (IJDET)*. – 2015. – Vol. 13(1). – P. 22–47. doi: 10.4018/ijdet.2015010102. – Текст : электронный.
91. Odonnell, E., Lawless S., Sharp M., Wade V. A Review of Personalised E-Learning / *International Journal of Distance Education Technologies*. – 2015. – 13(1). – P. 22–47. doi: 10.4018/ijdet.2015010102– Текст : электронный.
92. Ozudogru, F., Hismanoglu, M. Views of freshmen students on foreign language courses delivered via e-learning / *Online Journal of Distance Education*. – 2013. – 17(1). – URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/156708>. (дата обращения: 8.02.2024) – Текст : электронный.
93. Pituch, L. The influence of system characteristics on E-learning use: *Computers Education*. – 2006. – Vol. 47(2). – P. 222-244. doi: 10.1016/j.compedu.2004.10.007. – Текст : электронный.
94. Palacios-Marqués D., Cortés-Grao R. Outstanding knowledge competences and web 2.0 practices for developing successful e-learning project management / *International Journal of Project Management*. – 2013. – Vol. 31(1). – P. 14-21. doi: 10.1016/j.ijproman.2012.08.002. – Текст : электронный.
95. Popescu, E. Adaptation provisioning with respect to learning styles in a Web-based educational system: an experimental study / *Journal of Computer Assisted Learning*. – 2010. – Vol. 26. – P. 243-257. doi: 10.1111/j.1365-2729.2010.00364.x. – Текст : электронный.
96. Popescu, E., Badica C., Moraret L. Accommodating Learning Styles in an Adaptive Educational System / *Informatica*. – 2010. – Vol. 34(4). – P. 451-462. – URL: <https://www.informatica.si/index.php/informatica/article/view/319/>.(дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.
97. Razak, T.R., Hashim M.A., Noor N.M., Halim I.H.A., Shamsul N.F. Career Path recommendation system for UiTM Perlis students using fuzzy logic / *International*

Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS). – 2014. – P. 1-5. doi:10.1109/ICIAS.2014.6869553. – Текст : электронный.

98. Rodriguez, D., Sicilia, M.A. Cuadrado-Gallego, J.J. Pfahl D. E-Learning in Project Management Using Simulation Models: A Case Study Based on the Replication of an Experiment / IEEE Transactions on Education. – 2006. – Vol. 49(4). – P.451-463. – ISSN: 0717-5000. – Текст : непосредственный.

99. Rosenberg, M. J. E-learning: Strategies for delivering knowledge in the digital age / Advances in Internet of thing. – 2014. – Vol. 4. – №2. – P. 33-41. doi: 10.1016/S1096-7516(02)00082-9. – Текст : электронный.

100. Saaty, T. L., Vargas L. C. Inconsistency and rank preservation / Mathematical Psychology. – 2014. – Vol. 28(2). – P. 92-95. doi: 10.12691/ajams-2-3-2. – Текст : электронный.

101. Salahli, M., Ozdemir M., Yasar C. Building a Fuzzy Knowledge Management System for Personalized E-learning / Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2012. – Vol.46. – P. 1978-1982. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.05.414. – Текст: электронный.

102. Salehi, M. Latent Feature Based Recommender System for Learning Materials Using Genetic Algorithm / Journal of Information Systems and Telecommunication. – 2014. – Vol. 22(3). – P. 1–10. doi: 10.7508/jist.2014.03.001. – Текст : электронный.

103. Salehi, M. Pourzaferani M., Razavi S. Hybrid Attribute-based Recommender System for Learning Material using Genetic Algorithm and a Multidimensional Information Model / Egyptian Informatics Journal. – 2014. – Vol. 14(1). – P. 67–78. doi:10.1016/j.eij.2012.12.001.– Текст : электронный.

104. Self, A. Student models in computer-aided instruction / Int. J. Man-Mach. Stud. – 1974. – Vol.6(2). – P.261–276. – URL: https://www.researchgate.net/publication/235043824_Models_of_the_Learner_in_Computer-Assisted_Instruction(дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.

105. Seredkina, T., Shpolianskaya I., Dolzhenko A., Glushenko S. Fuzzy Multi-Criteria Evaluation Model for E-learning Course Recommendation / 34th IBIMA Conference 34th IBIMA Conference, Madrid, Spain – Spain. 2019. P.1345-1356. – URL: <https://ibima.org/accepted-paper/fuzzy-multi-criteria-evaluation-model-for-e-learning-course-recommendation/>. (дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.

106. Shen, G. Beydoun, S. Yuan, and G. Low Comparison of bio-inspired algorithms for peer selection in services composition / IEEE International Conference on services Computing. – 2011. P. 250-257. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Comparison-of-Bio-inspired-Algorithms-for-Peer-in-Shen-Beydoun/825b8c2e0f7c263f9bb4aeedb32db660cd97aba7>. (дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.

107. Shkodina, T.A., Shpolianskaya I.U. Intelligent Support System for Personalized Online Learning // BRAIN. Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience. –2020. – Vol. 11 (3). – P. 29-35. Ежекв. – ISSN: 2068-0473. – URL: <https://doi.org/10.18662/brain/11.3/107>. (дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.

108. Shkodina, T.A., Shpolianskaya I.U., Dolzhenko A.I., Potapov L.I. Fuzzy models of information security of the University educational process in the conditions of digitalization / 37th IBIMA Conference 37th IBIMA Conference, Cordoba, Spain. – Spain. 2021.P. 1432-1444. – ISSN: 2767-9640. – URL: <https://ibima.org/accepted-paper/fuzzy-models-of-information-security-of-the-university-educational-process-in-the-conditions-of-digitalization/>. (дата обращения: 06.02.2024). – Текст: электронный.

109. Su, X., Khoshgoftaar T. A Survey of collaborative filtering techniques / Journal of Advances in Artificial Intelligence. – 2009. – Vol. 4. – P. 1-19. – URL: <https://doi.org/10.1155/2009/421425>. (дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.

110. Tam, V., Lam E., Fung S. T. A new framework of concept clustering and learning path optimization to develop the next-generation e-learning systems / Journal of

Computers in Education. – 2014. – Vol. 1. – P. 335- 352. doi: 10.1007/s40692-014-0016-8. – Текст : электронный.

111. Vandewaetere, M., Desmet P., Clarebout G. The contribution of learner characteristics in the development of computer-based adaptive learning environments / Comput. Hum. Behav. – 2011. – Vol. 27(1). – P.118–130. doi: 10.1016/j.chb.2010.07.038. – Текст : электронный.

112. Verbert, K. Context-Aware Recommender Systems for Learning: A Survey and Future Challenges / IEEE Trans. Learn. Technol. – 2011. – Vol.5(4). – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6189308>. (дата обращения: 10.04.2023) – Текст : электронный.

113. Wang, J. Sharman R. Ramesh R. Shared Content Management in Replicated Web Systems: A Design Framework Using Problem Decomposition, Controlled Simulation, and Feedback Learning / IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews. – 2016. – Vol.38(1). – P.110-124. doi: 10.1109/TSMCC.2007.906049. – Текст : электронный.

114. Yaghmaie, M., Bahreininejad A. A context-aware adaptive learning system using agents / Expert Systems with Applications. – 2011. – Vol. 38. – P. 3280-3286. doi:10.1016/j.eswa.2010.08.113. – Текст : электронный.

115. Yilmaz, O. Tunçalp K.. A Mixed Learning Approach in Mecha-tronics Education / IEEE Transactions on Education. – 2011. – Vol.54(2). – P.294-301. –URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:19984174>. (дата обращения: 06.02.2024). – Текст : электронный.

116. Zaiane, O. Building a recommender agent for e-learning systems / Proceedings of the International Conference on Computers Education. – 2002. – Vol. 1. – P. 55–59. doi:10.1109/CIE.2002.1185862. – Текст : электронный.

Приложение А (обязательное)

Анализ функциональной полноты систем электронного обучения

Таблица А.1 – Элементы матрицы

Код	Системы												
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
F1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
F2	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
F3	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
F4	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
F5	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
F6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
F7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
F8	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
F9	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
F10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
F11	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
F12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F13	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
F14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F15	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	
F16	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
F17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
F19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
F20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F21	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1
F22	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
F23	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0

Код	Системы												
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
F24	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0
F25	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
F26	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
F27	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
F28	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
F29	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
F30	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
F31	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0
F32	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
F33	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
F34	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
F35	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0
F36	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0
F37	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
F38	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1
F39	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
F40	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F41	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
F42	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
F43	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
F44	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
F45	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
F46	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F47	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
F48	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
F49	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0

Источник: разработано автором

Таблица А.2 – Матрица абсолютной оценки функционального превосходства одной системы управления онлайн-обучением над другой

Код	Системы												
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃
S ₁	0	3	4	1	7	6	5	2	10	7	2	10	0
S ₂	11	0	7	3	6	5	9	3	9	10	4	15	2
S ₃	9	4	0	2	7	5	8	3	11	8	3	12	3
S ₄	15	9	11	0	11	12	12	4	11	14	9	19	3
S ₅	19	10	14	9	0	12	13	5	10	14	9	19	7
S ₆	16	7	10	8	10	0	12	6	11	12	7	17	5
S ₇	13	9	11	6	9	10	0	6	11	12	6	13	1
S ₈	20	13	16	8	11	14	16	0	15	18	12	25	5
S ₉	18	9	14	5	6	9	11	5	0	13	10	16	5
S ₁₀	9	4	5	2	4	4	6	2	7	0	3	10	2
S ₁₁	13	7	9	6	8	8	9	5	13	12	0	16	2
S ₁₂	7	4	4	2	4	4	2	4	5	5	2	0	0
S ₁₃	19	13	17	8	14	14	12	6	16	19	10	22	0

Источник: разработано автором

Таблица А.3 – Матрица P10

P10	P10									
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
P ₁	3	0	4	9	10	7	9	13	9	4
P ₂	4	7	0	11	14	10	11	16	14	5
P ₃	1	3	2	0	9	8	6	8	5	2
P ₄	7	6	7	11	0	10	9	11	6	4
P ₅	6	5	5	12	12	0	10	14	9	4
P ₆	5	9	8	12	13	12	0	16	11	6
P ₇	2	3	3	4	5	6	6	0	5	2
P ₈	10	9	11	11	10	11	11	15	0	7
P ₉	7	10	8	14	14	12	12	18	13	0

P10	P10									
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
P ₁₀	2	4	3	9	9	7	6	12	10	3

Источник: разработано автором

Таблица А.4 – Матрица P11

P10	P10											
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂
0	18	20	14	10	13	16	9	11	20	16	22	10
18	0	17	12	11	14	12	8	12	17	14	17	8
20	17	0	13	10	14	13	8	10	19	15	20	7
14	12	13	0	6	7	9	7	10	13	9	13	7
10	11	10	6	0	7	8	6	11	13	9	13	3
13	14	14	7	7	0	9	5	10	15	11	15	5
16	12	13	9	8	9	0	5	10	15	12	19	9
9	8	8	7	6	5	5	0	6	9	6	7	5
11	12	10	10	11	10	10	6	0	14	8	16	5
20	17	19	13	13	15	15	9	14	0	15	22	8
16	14	15	9	9	11	12	6	8	15	0	16	8
22	17	20	13	13	15	19	7	16	22	16	0	10
10	8	7	7	3	5	9	5	5	8	8	10	0

Источник: разработано автором

Таблица А.5 – Матрица P01

1,0000	0,5625	0,6060	0,4666	0,2777	0,3714	0,4705	0,2903	0,2820	0,5555	0,5161	0,5641	0,3448
0,5625	1,0000	0,6071	0,5000	0,4074	0,5384	0,4000	0,3333	0,4000	0,5483	0,5600	0,4722	0,3478
0,6060	0,6071	1,0000	0,5000	0,3225	0,4827	0,4065	0,2962	0,2857	0,5937	0,5555	0,5555	0,2592
0,4666	0,5	0,5000	1,0000	0,2307	0,2592	0,3333	0,3684	0,3846	0,4482	0,3750	0,3823	0,3888
0,2777	0,407407	0,3225	0,2307	1,0000	0,2413	0,2666	0,2727	0,4074	0,4193	0,3461	0,3611	0,1250
0,3714	0,538462	0,4827	0,2592	0,2413	1,0000	0,2903	0,2000	0,3333	0,4838	0,4230	0,4166	0,2083
0,4705	0,4	0,40625	0,3333	0,2666	0,2903	1,0000	0,1851	0,3125	0,4545	0,4444	0,5588	0,4090
0,2903	0,333333	0,2962	0,3684	0,2727	0,2000	0,1851	1,0000	0,2307	0,3103	0,2600	0,1944	0,3125
0,2820	0,4	0,2857	0,3846	0,4074	0,3333	0,3125	0,2307	1,0000	0,4117	0,2580	0,4324	0,1923
0,5555	0,548387	0,5933	0,4482	0,4193	0,4838	0,4545	0,3103	0,4117	1,0000	0,5000	0,5945	0,2758
0,5161	0,56	0,5555	0,3750	0,3461	0,4230	0,4444	0,2600	0,258065	0,5000	1,0000	0,4705	0,4000
0,5641	0,472222	0,5555	0,3823	0,3611	0,4166	0,5588	0,1944	0,4324	0,5945	0,4705	1,0000	0,3125
0,3448	0,347826	0,2592	0,3888	0,1250	0,2083	0,4090	0,3125	0,1923	0,2758	0,4000	0,3125	1,0000

Источник: разработано автором

Приложение Б (обязательное)**Многокритериальная статистическая кластеризация онлайн-курсов****Листинг Б.1.** Код алгоритма k-means

```
!pip install sklearn
import pandas as pd
import numpy as np
import pandas as pd
import numpy as np
df = pd.read_csv('Courses.csv', escapechar='`', low_memory=False)
df.head()
Skills = np.unique(df['Skills'])
Level = np.unique(df['Difficulty Level'])
from sklearn import preprocessing
from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
lev = LabelEncoder()
level_labels = lev.fit_transform(df['Difficulty Level'])
level_mappings = {index: label for index, label in enumerate(lev.classes_)}
level_mappings
df['Difficulty Level'] = level_labels
df[['Course Name', 'University', 'Course Rating', 'Skills', 'Difficulty Level']].iloc[1:9]
from sklearn import preprocessing
from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
ret = LabelEncoder()
ret_labels = ret.fit_transform(df['Course Rating'])
ret_mappings = {index: label for index, label in enumerate(ret.classes_)}
ret_mappings
df['Course Rating'] = ret_labels
df[['Course Name', 'University', 'Course Rating', 'Skills', 'Difficulty Level']].iloc[1:16]
from sklearn import preprocessing
from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
```



```

skil = LabelEncoder()
skil_labels = skil.fit_transform(df['Difficulty Level'])
skil_mappings = {index: label for index, label in enumerate(skil.classes_)}
skil_mappings
df.hist()
from pandas import read_csv
from pandas.plotting import scatter_matrix
from matplotlib import pyplot
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.model_selection import cross_val_score
from sklearn.model_selection import StratifiedKFold
from sklearn.metrics import classification_report
from sklearn.metrics import confusion_matrix
from sklearn.metrics import accuracy_score
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.discriminant_analysis import LinearDiscriminantAnalysis
from sklearn.naive_bayes import GaussianNB
from sklearn.svm import SVC
df.plot(kind='box', subplots=True, layout=(2,2), sharex=False, sharey=False) #диаграмма размаха
pyplot.show()
# Разделение датасета на обучающую и контрольную выборки
array = df5.values
# Выбор первых 4-х столбцов
X = array[:,4:6]
# Выбор 5-го столбца
y = array[:,3]
# Разделение X и y на обучающую и контрольную выборки

```

```
X_train, X_validation, Y_train, Y_validation = train_test_split(X, y, test_size=0.30, random_state=1)

# Загружаем алгоритмы модели
models = []

models.append(('LR', LogisticRegression(solver='liblinear', multi_class='ovr')))
models.append(('LDA', LinearDiscriminantAnalysis()))
models.append(('KNN', KNeighborsClassifier()))
models.append(('CART', DecisionTreeClassifier()))
models.append(('NB', GaussianNB()))
models.append(('SVM', SVC(gamma='auto')))

# оцениваем модель на каждой итерации
results = []
names = []

for name, model in models:
    kfold = StratifiedKFold(n_splits=10, random_state=1, shuffle=True)
    cv_results = cross_val_score(model, X_train, Y_train, cv=kfold, scoring='accuracy')
    results.append(cv_results)
    names.append(name)
    print('%s: %f (%f)' % (name, cv_results.mean(), cv_results.std()))

pyplot.boxplot(results, labels=names)
pyplot.title('Algorithm Comparison')
pyplot.show()

# Создаем прогноз на контрольной выборке
model = SVC(gamma='auto')
model.fit(X_train, Y_train)
predictions = model.predict(X_validation)

# Оцениваем прогноз
print(accuracy_score(Y_validation, predictions))
print(confusion_matrix(Y_validation, predictions))
print(classification_report(Y_validation, predictions))
```

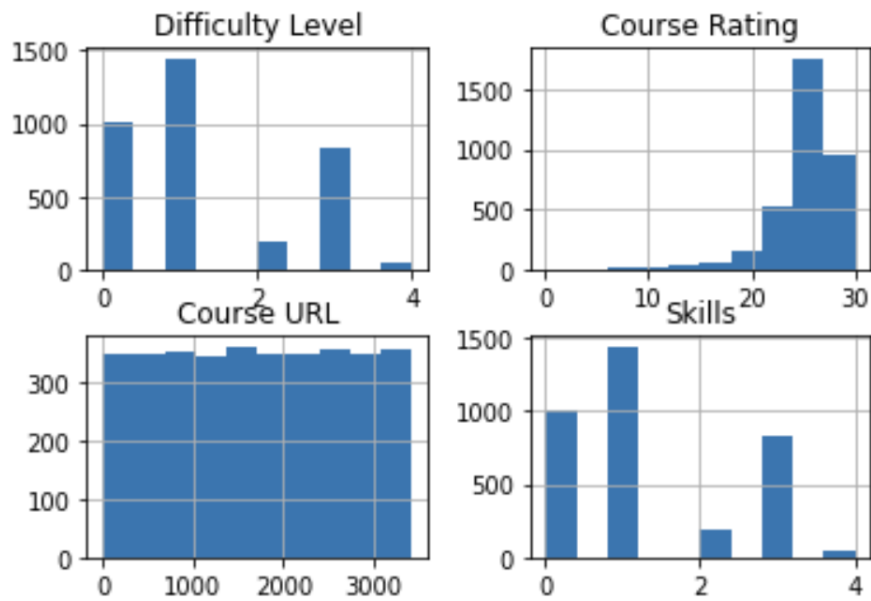


Рисунок Б.1 – Гистограмма распределения атрибутов

Источник: разработано автором

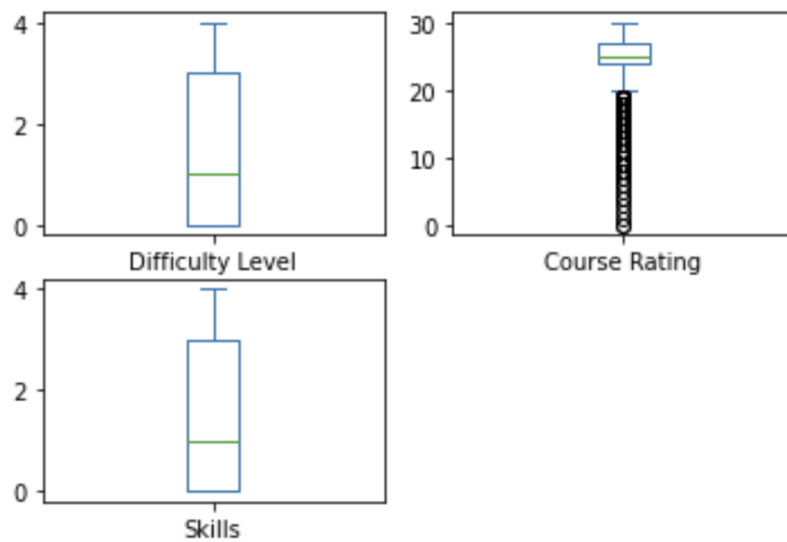


Рисунок Б.2 – Диаграмма размаха

Источник: разработано автором

Таблица Б.1 – Обозначения курсов по аналитике

Обозначение	Название курса
K1	Аналитик данных с нуля до middle
K2	Python для анализа данных
K3	Профессия Python для решения бизнес-задач
K4	Алгоритмы и структуры данных на Python. Базовый курс
K5	Курс «Python для анализа данных»
K6	Python для анализа данных
K7	Основы Python с 0
K8	Библиотеки Python для Data Science: Numpy, Matplotlib, Scikit-learn
K9	Python для аналитики
K10	Python для анализа данных
K11	Excel и Google-таблицы: от новичка до эксперта
K12	Мастер веб-аналитики
K13	Бизнес-аналитик
K14	Курс «Аналитик данных»
K15	Курс «Веб-аналитика»
K16	Профессия Data Scientist
K17	Data Scientist: с нуля до middle
K18	Онлайн-курс Excel: Продвинутый уровень
K19	Machine Learning Engineer
K20	Профессия Аналитик данных
K21	Факультет Python-разработки
K22	Системный аналитик PRO
K23	Профессия: Аналитик (с 0 до PRO)
K24	Профессия ВЕБ-РАЗРАБОТЧИК
K25	Техника трансформаций: Нейрофизиолог о НЛП. Алесей Ситников
K26	Стратегия и корпоративная культура
K27	Анализ рынков

Обозначение	Название курса
K28	Email-маркетолог для интернет-магазина
K29	Дашборд в Power BI с нуля до профи
K30	Онлайн-курс трейдеров
K31	Курс аналитика 1С (Системный аналитик 1С+Бизнес аналитик 1С)
K32	Курс МВА «Бизнес-аналитика»
K33	Excel и Google-таблицы – самый продуманный курс
K34	Удвоение личного дохода на фрилансе
K35	Директор по финансам
K36	Финансовый директор
K37	Micro MBA. Финансы
K38	Как стать специалистом по data science плюс
K39	Сквозная аналитика
K40	Полный курс по анализу данных
K41	Трансформация бизнеса: внедрение искусственного интеллекта
K42	Профессия Бизнес-аналитик
K43	Python для анализа данных
K44	Разработка стратегии
K45	Старт карьеры диджитал-маркетолога
K46	Менеджер чат-ботов
K47	Отчет для управленца
K48	Отчет для управленца
K49	Бизнес-аналитик 1С
K50	Курс МВА «Управление маркетингом и продажами»
K51	Трансформация бизнеса: внедрение искусственного интеллекта
K52	Факультет Аналитики Big Data
K53	Профессия Бизнес-аналитик
K54	Финансовый аналитик
K55	Сквозная аналитика
K56	Факультет Аналитики Big Data

Обозначение	Название курса
K57	Профессия: Data Scientist
K58	Бизнес-аналитик 1С
K59	Mini-MBA Professional Специализация «Управление финансами»
K60	Бизнес-аналитик
K61	Excel и Google-таблицы PRO
K62	Как стать аналитиком данных Плюс
K63	Основы SQL для анализа данных
K64	Data Scientist
K65	Полный курс по Data Science
K66	Профессия Data Scientist PRO
K67	Факультет Системной и бизнес-аналитики
K68	Профессия: Аналитик
K69	Интенсив «Убойные пятницы»
K70	Специалист по продвижению товаров в OZON
K71	Сожгите ваши слайды!
K72	Инженер данных
K73	Оценка стоимости недвижимости
K74	Онлайн-курс Эксель
K75	Google analytics: от новичка до эксперта
K76	Финансовый аналитик
K77	Excel и Google-таблицы для бухгалтера
K78	Курс «Инженер данных»
K79	Бизнес-аналитик
K80	Системный аналитик PRO
K81	Профессия Data Analyst
K82	Факультет Data Science
K83	Level Up: Senior Product & CPO
K84	ТРОЙНОЙ УДАР ПО POWERPOINT
K85	Специалист по продвижению товаров в Wildberries

Обозначение	Название курса
K86	Как заставить данные говорить
K87	Аналитик данных
K88	Онлайн-курс Яндекс.Директ
K89	Кредитный аналитик
K90	Excel и Google-таблицы: от новичка до эксперта
K91	Курс «Специалист по Data Science»
K92	Дата-инженер с нуля до middle
K93	Профессия Финансовый Аналитик
K94	Профессия Веб-аналитик
K95	Факультет Data Science в медицине
K96	Аналитика с 0: быстрый старт
K97	Шаблоны убойных слайдов
K98	Специалист по трафику для интернет-магазина
K100	Симулятор аналитика
K101	Онлайн-курс по финансовому анализу
K102	Подготовка к экзамену CFA Level 1
K103	Как делать исследования в продукте
K104	Системный аналитик с нуля до middle
K105	Профессия Аналитик данных
K106	Профессия Data Scientist: анализ данных
K107	Факультет Искусственного интеллекта
K108	Power BI, Tableau и визуализация данных
K109	KEY OF KEYNOTE
K110	Обработка данных в Excel
K111	Финансовое моделирование
K112	Курс «SQL для работы с данными и аналитики»
K113	Аналитик данных с нуля до middle
K114	Профессия Data Scientist: машинное обучение
K115	Факультет Data Engineering

Обозначение	Название курса
K116	SQL с 0 для анализа данных
K117	POWER OF POWERPOINT
K118	Дашборды для HR
K119	Data Science Academy
K121	Аналитик данных с нуля
K122	Факультет Бизнес-аналитики
K123	Unit-экономика и P&L
K124	Финансовый учет и анализ
K125	Продуктовый аналитик с нуля до middle
K126	Профессия Аналитик IC
K127	Факультет BI-разработки
K128	Аналитика для Product Marketing manager
K129	Управление финансами фирмы
K130	Финансист на удалёнке
K131	Event-менеджер в спорте
K132	Факультет BI-аналитики
K133	Навык: A/B-тестирование
K134	Личные финансы
K135	Аналитик данных
K136	Профессия Экономист-финансист
K137	Факультет игровой аналитики
K138	Power BI и Power Query
K139	Аналитик BI
K140	Системный аналитик с нуля
K141	Факультет Продуктовой аналитики
K142	Системный аналитик
K143	Аналитика для руководителей и владельцев бизнеса
K144	Факультет Финансовой аналитики
K145	Маркетинговый аналитик с нуля до middle

Обозначение	Название курса
K146	Профессия Маркетолог-аналитик
K147	HR-аналитик
K148	DataOps-инженер
K149	CX-исследования
K150	Анализ эффективности каналов при помощи веб-аналитики
K151	Дата-журналист: истории, основанные на данных
K152	Разработка стратегии в условиях неопределенности
K153	Маркетинговая и клиентская аналитика
K154	Игровой аналитик
K155	Профессия Продуктовый аналитик
K156	Настройка и тестирование веб-аналитики в Google Analytics и Yandex Metrika
K157	Аналитика для руководителей
K158	Продуктовая аналитика
K160	Машинное обучение
K161	Шахматы с нуля до PRO
K162	Библиотеки Python для Data Science: Numpy, Matplotlib, Scikit-learn
K163	АССА «Финансовая отчётность»
K164	Сторителлинг
K165	Теория вероятностей и математическая статистика
K166	Финансовая аналитика
K167	ВTL-маркетинг
K168	Unit-экономика и анализ рынка
K169	ETL-разработчик: пайплайны, хранилища данных и BI-решения
K170	Аналитик букмекерской компании
K171	Основы баз данных Проектирование БД и запросы SQL
K172	Веб-аналитика для маркетолога
K173	Профессия BI-аналитик
K174	UX-аналитика
K175	Основы и практика Business Intelligence

Обозначение	Название курса
K176	Продуктовая аналитика: понимание продукта через метрики
K177	Менеджер логистических процессов
K178	Deep leaning
K179	Введение в Data Science
K180	Python для анализа данных
K181	MS Office и инструменты Google
K182	Power BI
K183	Инвестиционная оценка
K184	Tableau: визуализация данных
K185	Аналитик мобильных приложений
K186	Big Data с нуля
K187	Веб-аналитик с нуля до Junior
K188	SQL и получение данных
K189	Трейдинг
K190	Power BI & Excel PRO
K191	Финансовое моделирование
K192	Excel
K193	Power BI PRO
K194	Сквозная аналитика
K195	SQL для анализа данных
K196	Язык R для аналитики
K197	Язык R для анализа данных
K198	Аналитика мобильных приложений
K199	Философия искусственного интеллекта
K200	Математика для анализа данных

Источник: разработано автором

Таблица Б.2 – Критерии онлайн-курсов

Курс	Школа	Цена	Длительность	Положительные отзывы	Рейтинг
К1	Нетология	96600	13	24	4,3
К2	Нетология	31500	4	24	4,3
К3	GeekBrains	15948	1,5	70	4,2
К4	GeekBrains	15000	1	70	4,2
К5	SkillFactory	27000	2	52	4,1
К6	Skypro	24000	2,5	16	4,0
К7	ProductStar	34900	2	18	4,0
К8	GeekBrains	15000	1	70	4,2
К9	Otus	45000	4	17	3,8
К10	Нетология	31500	4	24	4,3
К11	Eduson Academy	17900	0,5	12	4,8
К12	MaEd	15235	6	17	4,7
К13	Eduson Academy	57500	12	12	4,8
К14	Яндекс Практикум	70000	6	142	4,7
К15	IMBA	38900	3	26	4,7
К16	SkillFactory	151800	12	168	4,8
К17	Нетология	156000	18	43	4,8
К18	Бруноям	14900	1	38	4,7
К19	Skillbox	212688	12	73	4,6
К20	Skypro	99324	18	34	4,8
К21	GeekBrains	159588	15	97	4,2
К22	SkillFactory	71500	7	24	4,7
К23	ProductStar	74900	6	28	4,6
К24	LoftSchool	70700	5	25	4,5
К25	Уроки Легенд	8990	1,5	5	4,3

Курс	Школа	Цена	Длительность	Положительные отзывы	Рейтинг
K26	TSQ Online	15000	2	7	4,3
K27	Skill Cup	7199	15	4	4,5
K28	Todoo	43200	2	6	4,3
K29	Бизнес-Аналитика	18000	1,5	3	4,3
K30	Irs Academy	53800	1	27	4,3
K31	Cors Academy	68160	12	24	4,3
K32	Московская Бизнес Академия	98000	15	9	4,3
K33	Convert Monster	19900	12	9	4,7
K34	Convert Monster	50000	18	22	4,2
K35	City Business School	59400	12	25	3,9
K36	SF Education	200000	15	23	4,2
K37	Рус Школа Управления	31920	0,25	7	3,8
K38	Яндекс Практикум	228000	15	142	4,7
K39	IMBA	33900	1.5	26	4,7
K40	SkillFactory	124850	15	168	4,6
K41	Нетология	150000	15	43	4,8
K42	Skillbox	145359	15	73	4,6
K43	Skypro	24000	2,5	34	4,8
K44	TSQ Online	300	1	7	4,3
K45	Skill Cup	2490	1	4	4,5
K46	Todoo	38400	2	6	4,3
K47	Институт Бизнес-Аналитики	15900	0,25	3	4,3

Курс	Школа	Цена	Длительность	Положительные отзывы	Рейтинг
K48	Irs Academy	29400	1	27	4,3
K49	Cors Academy	46462	18	24	4,3
K50	Бизнес-образование	98000	12	10	4,3
K51	Нетология	150000	15	43	4,8
K52	GeekBrains	159588	18	98	4,2
K53	Skillbox	145359	12	73	4,6
K54	Product Live	70800	10	24	4,7
K55	IMBA	33900	1,5	26	4,7
K56	GeekBrains	159588	18	98	4,2
K57	ProductStar	64900	10	28	4,6
K58	Cors Academy	46462	11	24	4,3
K59	City Business School	58500	6	34	3,9
K60	SF Education	190000	15	23	4,2
K61	Eduson Academy	22900	2	12	4,8
K62	Яндекс Практикум	168000	12	143	4,7
K63	Skypro	24000	2,5	34	4,8
K64	Нетология	126000	10	43	4,8
K65	SkillFactory	100100	13	178	4,6
K66	Skillbox	136565	12	73	4,6
K67	GeekBrains	159588	18	98	4,2
K68	ProductStar	64900	8	28	4,6
K69	BONNIE&SL IDE	18900	0.25	21	4,3
K70	Todoo	38400	2,5	9	4,3

Курс	Школа	Цена	Длительность	Положительные отзывы	Рейтинг
K71	Институт Бизнес-Аналитики	13000	2	3	4,3
K72	KARPOV.CO URSES	90000	5	13	4,3
K73	Институт бизнес-образования	14900	7	8	4,3
K74	Irs Academy	27300	2	27	4,3
K75	Convert Monster	19900	2	22	4,2
K76	SF Education	190000	10	23	4,2
K77	Eduson Academy	17900	2	12	4,8
K78	Яндекс Практикум	95000	2	143	4,7
K79	Нетология	111720	10	43	4,8
K80	SkillFactory	85800	7	178	4,6
K81	Skillbox	129629	12	73	4,6
K82	GeekBrains	157140	18	98	4,2
K83	ProductStar	46900	7	28	4,6
K84	BONNIE&SL IDE	17400	4	21	4,3
K85	Todoo	38400	2	9	4,3
K86	Институт Бизнес-Аналитики	7500	0,25	3	4,3
K87	KARPOV.CO URSES	80000	5	13	4,3
K88	Irs Academy	26000	4	27	4,3
K89	SF Education	183000	18	23	4,2
K90	Eduson Academy	17900	0,5	12	4,8

Курс	Школа	Цена	Длительность	Положительные отзывы	Рейтинг
K91	Яндекс Практикум	95000	8	143	4,7
K92	Нетология	108000	7	43	4,8
K93	SkillFactory	77880	7	178	4,6
K94	Skillbox	120270	14	73	4,6
K95	GeekBrains	157140	12	98	4,2
K96	ProductStar	46900	5	28	4,6
K97	BONNIE&SL IDE	14500	4	21	4,3
K98	Todoo	38400	2,5	9	4,3
K99	Институт Бизнес-Аналитики	3800	0,25	3	4,3
K100	KARPOV.CO URSES	35000	1,5	13	4,3
K101	Irs Academy	21000	1	13	4,3
K102	SF Education	150000	12	23	4,2
K103	Яндекс Практикум	39000	4	143	4,7
K104	Нетология	108000	14	43	4,8
K105	SkillFactory	71500	10	178	4,6
K106	Skillbox	95040	14	73	4,6
K107	GeekBrains	157140	18	98	4,2
K108	ProductSta	34900	10	28	4,6
K109	BONNIE&SL IDE	11500	4	21	4,3
K110	Институт Бизнес-Аналитики	3800	0,25	3	4,3
K111	SF Education	120000	14	23	4,2
K112	Яндекс Практикум	39000	3	143	4,7

Курс	Школа	Цена	Длительность	Положительные отзывы	Рейтинг
K113	Нетология	96600	10	43	4,8
K114	Skillbox	95040	13	73	4,6
K115	GeekBrains	157068	18	98	4,2
K116	ProductStar	34900	3	28	4,6
K117	BONNIE&SL IDE	11500	4	21	4,3
K118	Институт Бизнес- Аналитики	1900	0,25	3	4,3
K119	SF Education	75000	10	23	4,2
K120	Нетология	89400	10	43	4,8
K121	Skillbox	90134	2	73	4,6
K122	GeekBrains	157068	18	98	4,2
K123	ProductStar	34900	2	28	4,6
K124	SF Education	60000	10	23	4,2
K125	Нетология	89400	14	43	4,8
K126	Skillbox	87504	24	73	4,6
K127	GeekBrains	149500	26	98	4,2
K128	ProductStar	34900	2	28	4,6
K129	SF Education	50000	4	23	4,2
K130	Нетология	84000	14	43	4,8
K131	Skillbox	82290	14	73	4,6
K132	GeekBrains	134568	24	98	4,2
K133	ProductStar	34900	2	28	4,6
K134	SF Education	30000	2	23	4,2
K135	Нетология	76200	10	43	4,8
K136	Skillbox	72478	12	73	4,6
K137	GeekBrains	119592	24	98	4,2
K138	SF Education	25000	2	23	4,2
K139	Нетология	70200	9,5	43	4,8

Курс	Школа	Цена	Длительность	Положительные отзывы	Рейтинг
K140	Skillbox	71750	10	73	4,6
K141	GeekBrains	119592	24	98	4,2
K142	Нетология	69600	10	43	4,8
K143	Skillbox	70560	2	73	4,6
K144	GeekBrains	99600	14	98	4,2
K145	Нетология	65400	10	43	4,8
K146	Skillbox	69888	12	73	4,6
K147	GeekBrains	69650	10	98	4,2
K148	Нетология	64800	10	43	4,8
K149	Skillbox	65611	9,5	73	4,6
K150	GeekBrains	19800	2	98	4,2
K151	Нетология	64800	10	43	4,8
K152	Skillbox	65004	14	73	4,6
K153	GeekBrains	19800	9,5	98	4,2
K154	Нетология	64800	10	43	4,8
K155	Skillbox	61824	14	73	4,6
K156	GeekBrains	19800	2	98	4,2
K157	Нетология	55781	10	43	4,8
K158	Skillbox	58800	12	73	4,6
K159	GeekBrains	17150	1,5	98	4,2
K160	Нетология	49000	14	43	4,8
K161	Skillbox	56970	10	73	4,6
K162	GeekBrains	16500	1,5	98	4,2
K163	Нетология	45500	9,5	43	4,8
K164	Skillbox	56339	4	73	4,6
K165	GeekBrains	16500	2	98	4,2
K166	Нетология	42000	4	43	4,8
K167	Skillbox	56238	10	73	4,6
K168	GeekBrains	13167	1,5	98	4,2

Курс	Школа	Цена	Длительность	Положительные отзывы	Рейтинг
K169	Нетология	41300	8	43	4,8
K170	Skillbox	56238	10	73	4,6
K171	GeekBrains	5500	0,5	98	4,2
K172	Нетология	39540	4	43	4,8
K173	Skillbox	53229	10	73	4,6
K174	Нетология	37730	3	43	4,8
K175	Skillbox	50470	9,5	73	4,6
K176	Нетология	33500	2	43	4,8
K177	Skillbox	49844	9	73	4,6
K178	Нетология	31500	2	43	4,8
K179	Skillbox	46296	7	73	4,6
K180	Нетология	31500	2,5	43	4,8
K181	Skillbox	45587	2	73	4,6
K182	Нетология	25550	1,5	43	4,8
K183	Skillbox	45570	2	73	4,6
K184	Нетология	25550	1,5	43	4,8
K185	Skillbox	42539	2	73	4,6
K186	Нетология	24850	1	43	4,8
K187	Skillbox	42539	2	73	4,6
K188	Нетология	24850	1,5	43	4,8
K189	Skillbox	39705	1,5	73	4,6
K190	Нетология	23450	1	43	4,8
K191	Skillbox	38587	1,5	73	4,6
K192	Нетология	19727	1	43	4,8
K193	Skillbox	36855	2	73	4,6
K194	Нетология	18900	1	43	4,8
K195	Skillbox	35844	1,5	73	4,6
K196	Нетология	18900	1,5	43	4,8
K197	Skillbox	35844	1,5	73	4,6

Курс	Школа	Цена	Длительность	Положительные отзывы	Рейтинг
К198	Нетология	17500	1,5	43	4,8
К199	Skillbox	35496	1	73	4,6
К200	Нетология	17500	1	43	4,8

Источник: разработано автором

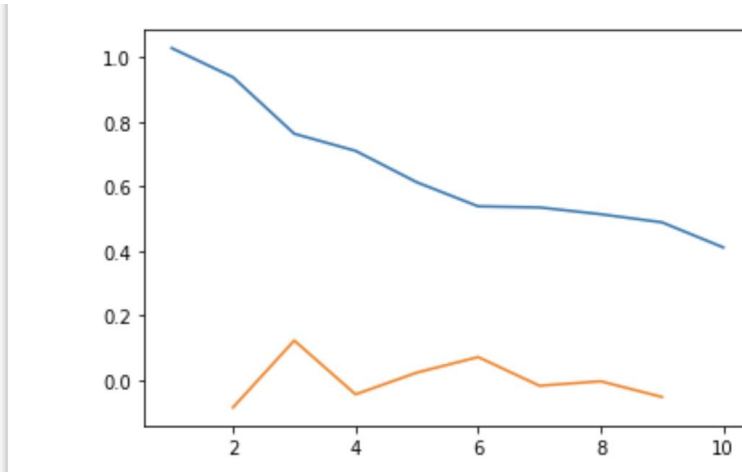


Рисунок Б.3 – Определение количества кластеров методом «локтя»

Источник: разработано автором

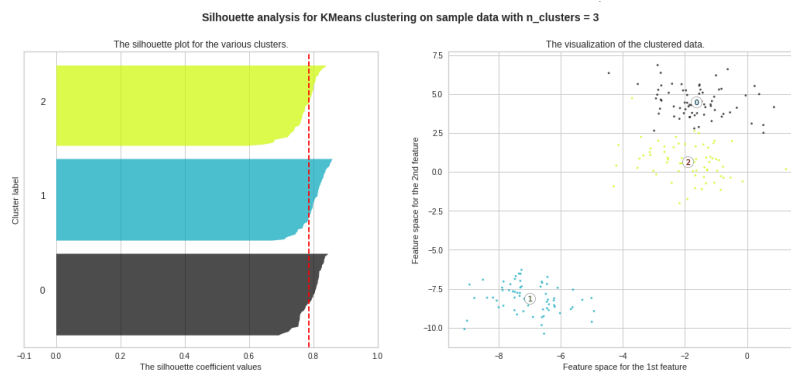


Рисунок Б.4 – Визуализация результата при выборе распределения курсов на 3 кластера

Источник: разработано автором

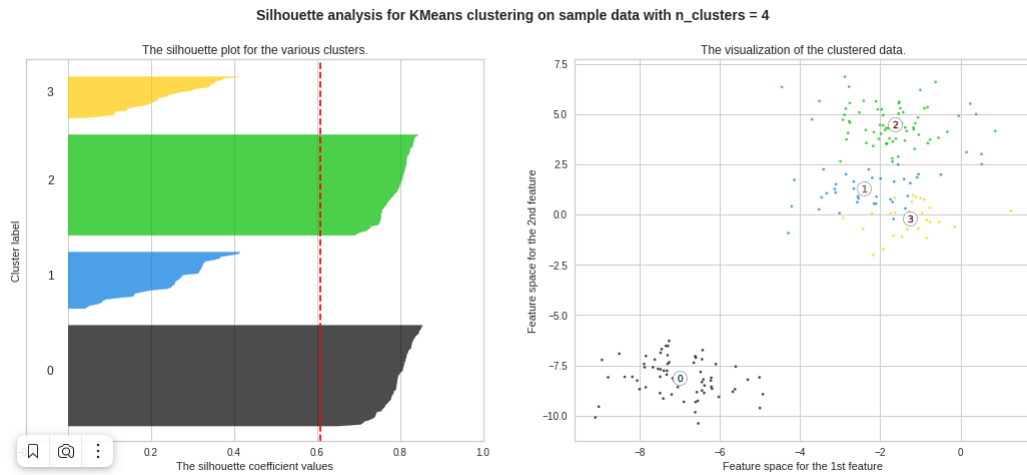


Рисунок Б.5 – Визуализация результата при выборе распределения курсов
на 4 кластера

Источник: разработано автором

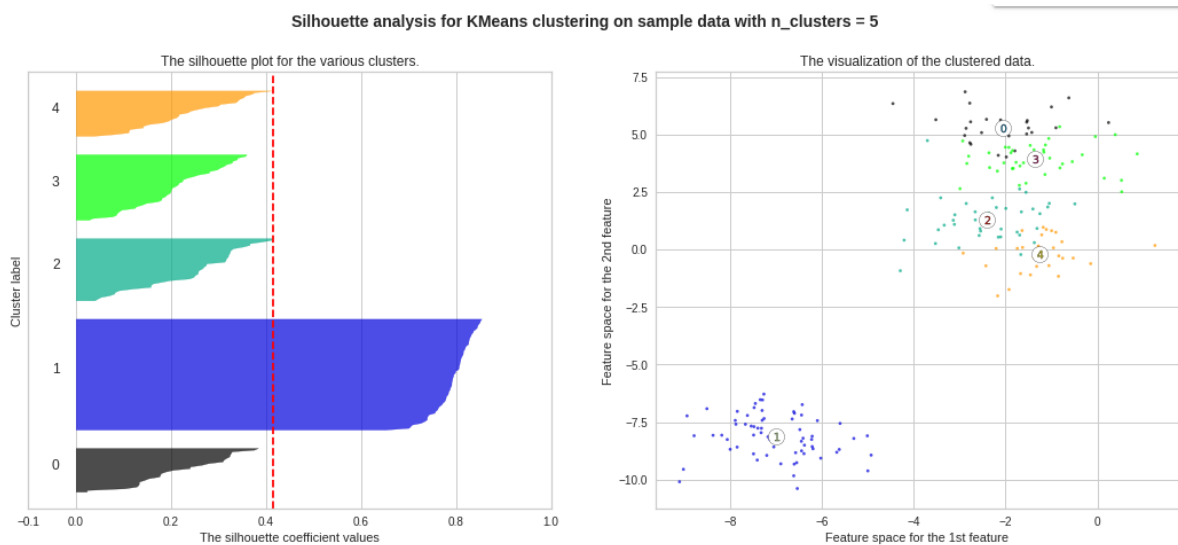


Рисунок Б.6 – Визуализация результата при выборе распределения курсов
на 5 кластеров

Источник: разработано автором

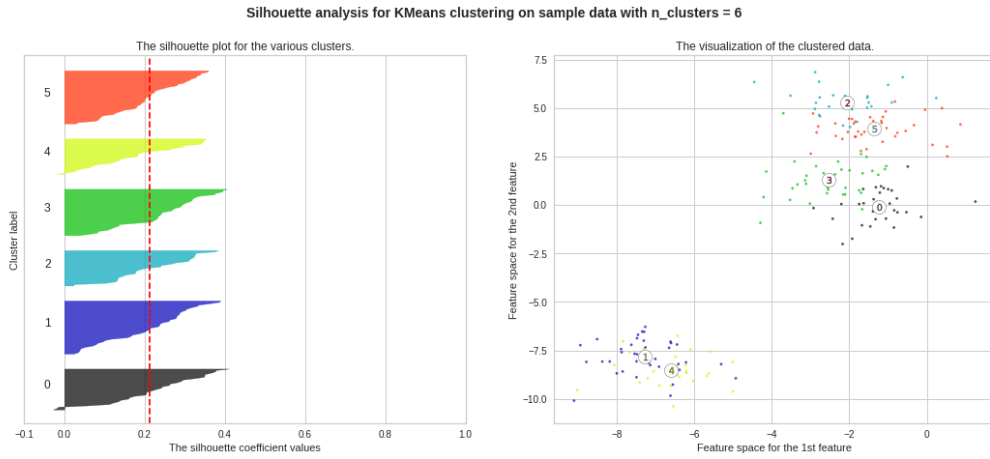


Рисунок Б.6 – Визуализация результата при выборе распределения курсов на 6 кластеров

Источник: разработано автором

```
array([[3, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 3, 3, 3, 2,
        2, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 3, 2, 3, 1, 3, 1, 3, 2, 3, 3, 3, 2, 1,
        1, 1, 1, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 3, 2, 1, 1, 3, 2, 3, 2, 2, 3, 3,
        3, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 2, 1, 1, 1, 1, 1,
        3, 2, 3, 2, 3, 3, 3, 3, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 3, 2, 2, 3, 3, 3, 2, 1, 1,
        3, 2, 2, 3, 3, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 2, 1, 2, 3, 3, 2, 1, 2, 3, 3,
        2, 1, 2, 2, 3, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 2, 2, 1, 2, 3, 1, 2,
        3, 1, 2, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2,
        2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2,
        2, 2], dtype=int32)
```

Рисунок Б.7 – Вывод распределения курсов по 3 кластерам с помощью KMeans

Источник: разработано автором

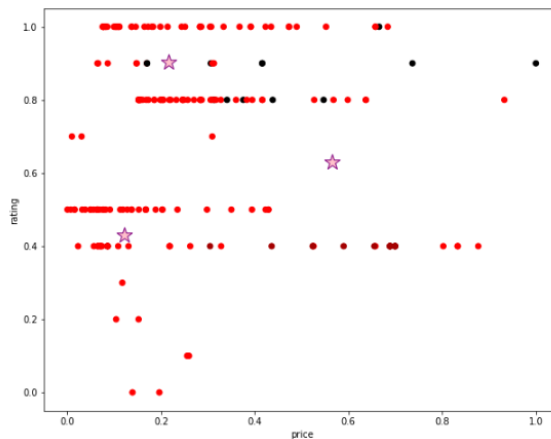


Рисунок Б.8 – Диаграмма рассеивания между ценой и рейтингом (KMeans)

Источник: разработано автором

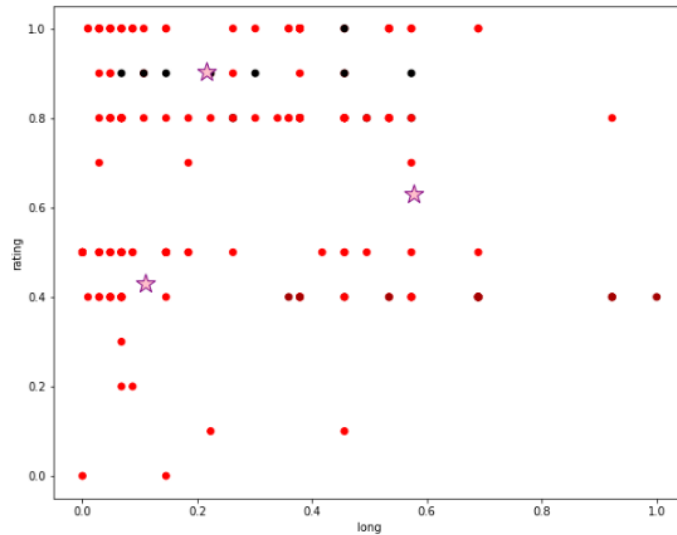


Рисунок Б.9 – Диаграмма рассеивания между длительностью и рейтингом
(KMeans)

Источник: разработано автором

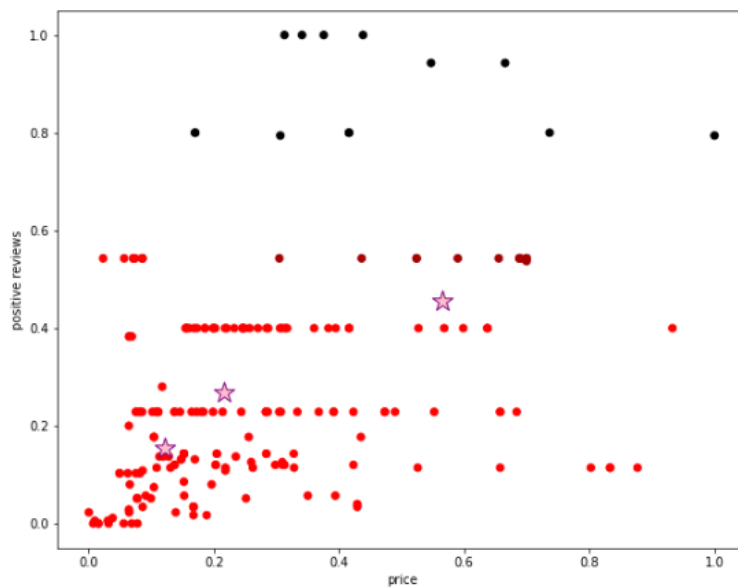


Рисунок Б.10 – Диаграмма рассеивания между ценой и количеством
положительных отзывов (KMeans)

Источник: разработано автором

Приложение В (обязательное)

Онтологическая модель и запросы по предпочтениям пользователя

The screenshot shows a SPARQL query window with the following query:

```

SPARQL query
PREFIX rdf-<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl-<http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd-<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs-<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX untitled-ontology-6-<http://www.semanticweb.org/basic/ontologies/2020/1/untitled-ontology-6#>
SELECT ?Курс ?ФИО_автора

WHERE {
?x untitled-ontology-6:автор/ИмеетКурс ?Курс.
?x untitled-ontology-6:ФИО ?ФИО_автора
}

```

The results table is as follows:

Курс	ФИО_автора
Основы_языка_программирования_Python	"Фролов Михаил Алексеевич"@
Графический_дизайн	"Шапова Ольга Петровна"@

An "Execute" button is visible at the bottom of the interface.

Рисунок В.1 – Авторы курсов

Источник: разработано автором

The screenshot shows a SPARQL query window with the following query:

```

SPARQL query
PREFIX rdf-<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl-<http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd-<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs-<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX untitled-ontology-6-<http://www.semanticweb.org/basic/ontologies/2020/1/untitled-ontology-6#>
SELECT DISTINCT ?Курс ?Ключевые_слова

WHERE {
?Курс а ?Курсы .
?Курс untitled-ontology-6:Курс/ИмеетКлючевыеСлова ?Ключевые_слова.
}

```

The results table is as follows:

Курс	Ключевые_слова
Основы_языка_программирования_Python	python
Основы_языка_программирования_Python	программирование
Основы_языка_программирования_Python	основы
Графический_дизайн	средства
Графический_дизайн	проектирование
Графический_дизайн	методы

An "Execute" button is visible at the bottom of the interface.

Рисунок В.2 – Поиск по ключевым словам

Источник: разработано автором

SPARQL query

```

PREFIX rdf:<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl:<http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd:<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs:<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX untitled-ontology-6:<http://www.semanticweb.org/basic/ontologies/2020/1/untitled-ontology-6#>
SELECT ?Курс ?ФИО_автора ?Ученая_степень ?Должность ?Стаж_работы

WHERE {
?x untitled-ontology-6:авторИмеетКурс ?Курс.
?x untitled-ontology-6:ФИО ?ФИО_автора.
?x untitled-ontology-6:Ученая_степень ?Ученая_степень.
?x untitled-ontology-6:Должность ?Должность.
?x untitled-ontology-6:Стаж_работы ?Стаж_работы
}

```

Курс	ФИО_автора	Ученая_степень	Должность	Стаж_работы
Основы_языка_программирования_Python	"Фролов Михаил Алексеевич"@	"д.э.н."@	"профессор"@	"20 лет"@
Графический_дизайн	"Шапова Ольга Петровна"@	"к.э.н."@	"Доцент"@	"10 лет"@

Execute

Рисунок В.3 – Информация об авторе онлайн-курса

Источник: разработано автором

Active Ontology x Entities x Individuals by class x DL Query x Classes x Object Properties x Data Properties x SPARQL Query x

SPARQL query:

```

PREFIX rdf:<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl:<http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd:<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs:<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX untitled-ontology-6:<http://www.semanticweb.org/basic/ontologies/2020/1/untitled-ontology-6#>
SELECT DISTINCT ?Рекомендованный_Курс ?Область_знаний ?Практические_навыки_и_умения ?Уровень ?Ключевые_слова

WHERE {
?Рекомендованный_Курс а ?Курсы.
?Рекомендованный_Курс untitled-ontology-6:КурсИмеетКлючевыеСлова ?Ключевые_слова.
?Рекомендованный_Курс untitled-ontology-6:курсИмеетУровеньСложности ?Уровень.
?Рекомендованный_Курс untitled-ontology-6:КурсИмеетОК ?Практические_навыки_и_умения.

?Рекомендованный_Курс untitled-ontology-6:КурсИмеетОбластьЗнаний ?Область_знаний
}

```

Рекомендованный_Курс	Область_знаний	Практические_навыки_и_умения	Уровень	Ключевые_слова
Основы_языка_программирования_Языки_программирования	разрабатывать_программное_обеспечение_с_помощью_языков_программирования	разрабатывать_программное_обеспечение_с_помощью_языков_программирования	Высокий	python

Execute

Рисунок В.4 – Рекомендованный курс по области знания

Источник: разработано автором

SPARQL query

```

PREFIX rdf-<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl-<http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd-<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs-<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX untitled-ontology-6-<http://www.semanticweb.org/basic/ontologies/2020/1/untitled-ontology-6#>
SELECT DISTINCT ?Рекомендованный_Курс ?Область_знаний ?Практические_навыки_и_умения ?Уровень_сложности ?Ключевые_слова
WHERE {
?Рекомендованный_Курс a ?Курсы .
?Рекомендованный_Курс untitled-ontology-6:Ключевое_слово_1 ?Ключевые_слова (?Ключевые_слова="python").
?Рекомендованный_Курс untitled-ontology-6:Уровень_сложности ?Уровень_сложности (?Уровень_сложности="высокий").
?Рекомендованный_Курс untitled-ontology-6:КурсыИмеетOK ?Практические_навыки_и_умения.
?Рекомендованный_Курс untitled-ontology-6:КурсыИмеетОбластьЗнаний ?Область_знаний
}

```

Рекомендованный_Курс	Область_знаний	Практические_навыки_и_умения	Уровень_сложности	Ключевые_слова
Основы_языка_программирования_Python	Языки_программирования	кодирование_на_языках_программирования	"высокий"@	"python"@

Execute

Рисунок В.5 – Рекомендованный курс по уровню сложности

Источник: разработано автором

Active Ontology | Entities | Classes | Object Properties | Data Properties | Annotation Properties | Individuals | OWL Viz | DL Query | OntoGraf | SPARQL Query | Ontology Differences

SPARQL query

```

PREFIX rdf-<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl-<http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX xsd-<http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX rdfs-<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX untitled-ontology-6-<http://www.semanticweb.org/basic/ontologies/2020/1/untitled-ontology-6#>
SELECT DISTINCT ?Ключевые_слова ?Рекомендованный_Курс
WHERE {
?Рекомендованный_Курс a ?Курсы .
?Рекомендованный_Курс untitled-ontology-6:КурсыИмеетКлючевыеСлова ?Ключевые_слова.
}

```

Ключевые_слова	Рекомендованный_Курс
python	Основы_языка_программирования_Python
программирование	Основы_языка_программирования_Python
python	Разработка_web-приложений_на_Python
программирование	Программирование_на_Java
python	Python_с_нуля

Execute

Рисунок В.6 – Рекомендованный курс по ключевым словам

Источник: разработано автором

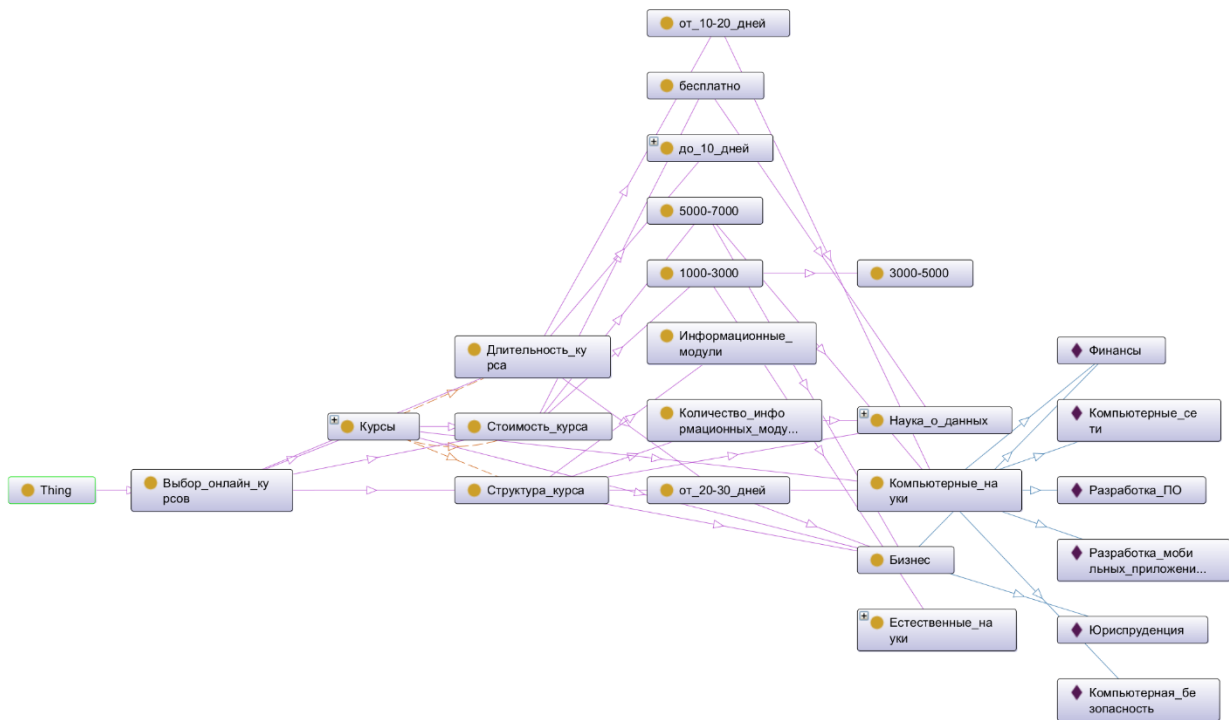


Рисунок В.7 – Онтологическая модель

Источник: разработано автором

Приложение Г (обязательное)**Листинг кода СПВР****Листинг кода Г.1. Manage.py**

```
#!/usr/bin/env python
"""Django's command-line utility for administrative tasks."""
import os
import sys

def main():
    """Run administrative tasks."""
    os.environ.setdefault("DJANGO_SETTINGS_MODULE", "core.settings")
    try:
        from django.core.management import execute_from_command_line
    except ImportError as exc:
        raise ImportError(
            "Couldn't import Django. Are you sure it's installed and "
            "available on your PYTHONPATH environment variable? Did you "
            "forget to activate a virtual environment?"
        ) from exc
    execute_from_command_line(sys.argv)

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Листинг кода Г.2. Admin.py

```
from django.contrib import admin
from django.contrib.auth.admin import UserAdmin as BaseUserAdmin
from .models import User
@admin.register(User)
class UserAdmin(BaseUserAdmin):
    filter_horizontal = (
        "groups",
        "user_permissions",
        "courses", )
    def get_fieldsets(self, request, obj=None):
        fieldsets = super().get_fieldsets(request, obj)
```

```

return (
    *fieldsets,
    ( "Курсы", {"fields": ("courses"), }, ), )

```

Листинг кода Г.3. Views.py

```

import json
from courses.models import Course
from django.contrib.auth import get_user_model
from django.contrib.auth.mixins import LoginRequiredMixin
from django.contrib.auth.views import LoginView as BaseLoginView
from django.http.response import JsonResponse
from django.shortcuts import get_object_or_404
from django.urls import reverse_lazy
from django.views import View, generic
from .forms import AuthenticationForm, PersonalAreaForm, SignUpForm
UserModel = get_user_model()
class PersonalAreaView(LoginRequiredMixin, generic.UpdateView):
    form_class = PersonalAreaForm
    template_name = "registration/personal-area.html"
    model = UserModel
    success_url = reverse_lazy("personal-area")
    def get_object(self, queryset=None):
        return self.request.user
class LoginView(BaseLoginView):
    form_class = AuthenticationForm
class SignUpView(generic.CreateView):
    form_class = SignUpForm
    success_url = reverse_lazy("login")
    template_name = "registration/signup.html"
class UserFavoriteView(LoginRequiredMixin, View):
    def get_object(self):
        data = json.loads(self.request.body)
        course_id = data["course_id"]
        return get_object_or_404(Course, pk=course_id)
    def get_response(self):
        return JsonResponse({"detail": "Успешно"})

```

```

def delete(self, request):
    request.user.courses.remove(self.get_object())
    return self.get_response()

def put(self, request):
    request.user.courses.add(self.get_object())
    return self.get_response()

```

Листинг кода Г.4. Urls.py

```

from django.urls import include, path
from .views import LoginView, PersonalAreaView, SignUpView, UserFavoriteView

urlpatterns = [
    path("accounts/", include("django.contrib.auth.urls")),
    path("login/", LoginView.as_view(), name="login"),
    path("signup/", SignUpView.as_view(), name="signup"),
    path("personal-area/", PersonalAreaView.as_view(), name="personal-area"),
    path(
        "courses/favorite",
        UserFavoriteView.as_view(),
        name="user-favorite-course",)]

```

Листинг кода Г.5. Courses/views.py

```

import random
from django.contrib.auth.mixins import LoginRequiredMixin
from django.urls import reverse_lazy
from django.views import generic
from .forms import TestForm
from .models import Course, CourseCategory

class CourseCategoryListView(generic.ListView):
    queryset = CourseCategory.objects
    template_name = "courses/category/list.html"

class CourseCategoryDetailView(generic.DetailView):
    queryset = CourseCategory.objects
    template_name = "courses/category/detail.html"

class FavoriteCoursesListView(LoginRequiredMixin, generic.ListView):
    template_name = "courses/favorite.html"

    def get_queryset(self):

```

```

        return self.request.user.courses.all()
class RecommendationsView(LoginRequiredMixin, generic.ListView):
    template_name = "courses/category/recommendations.html"
    queryset = Course.objects.all().order_by("?")[:5]
class TestView(LoginRequiredMixin, generic.FormView):
    template_name = "courses/test.html"
    form_class = TestForm
    success_url = reverse_lazy("recommendations")

```

Листинг кода Г.6. Courses/admin.py

```

from django.contrib import admin
from .models import Course, CourseCategory, Platform
@admin.register(Course)
class CourseAdmin(admin.ModelAdmin):
    list_display = (
        "name",
        "category",
        "manager",)
    list_filter = (
        "category",
        "manager",)
class CourseCategoryInline(admin.StackedInline):
    extra = 1
    model = CourseCategory
@admin.register(CourseCategory)
class CourseCategoryAdmin(admin.ModelAdmin):
    list_display = (
        "name",
        "parent_category",)
    inlines = (CourseCategoryInline,)
class CourseInline(admin.StackedInline):
    extra = 1
    model = Course
@admin.register(Platform)
class PlatformAdmin(admin.ModelAdmin):
    list_display = (

```

```

    "name",
    "rating",)
inlines = (CourseInline,)

```

Листинг кода Г.7. Accounts/forms.py

```

from django import forms
from django.contrib.auth import get_user_model
from django.contrib.auth.forms import AuthenticationForm as BaseAuthenticationForm
from django.contrib.auth.forms import UserChangeForm, UserCreationForm, UsernameField
UserModel = get_user_model()
class SignUpForm(UserCreationForm):
    def __init__(self, *args, **kwargs):
        super().__init__(*args, **kwargs)
        for field in self.fields:
            self.fields[field].widget.attrs.update({"class": "form-control"})
class Meta(UserCreationForm.Meta):
    model = UserModel
    fields = ("username", "email",)
class PersonalAreaForm(UserChangeForm):
    password = None
    def __init__(self, *args, **kwargs):
        super().__init__(*args, **kwargs)
        for field in self.fields:
            self.fields[field].widget.attrs.update({"class": "form-control"})
class Meta(UserChangeForm.Meta):
    model = UserModel
    fields = (
        "username",
        "first_name",
        "last_name",
        "email",)
class AuthenticationForm(BaseAuthenticationForm):
    username = UsernameField(
        widget=forms.TextInput(
            attrs={
                "autofocus": True,

```

```

        "class": "form-control",
    } ) )
password = forms.CharField(
    label="Пароль",
    strip=False,
    widget=forms.PasswordInput(
        attrs={"autocomplete": "current-password", "class": "form-control"}), )

```

Листинг кода Г.8. Courses.py

```

from django.db import models

class Platform(models.Model):
    name = models.CharField("Наименование компании", max_length=255)
    rating = models.FloatField(
        "Рейтинг",
        help_text="От 0 до 5",
    )
    link = models.URLField("Ссылка")
    def __str__(self):
        return self.name
    class Meta:
        verbose_name = "Компания"
        verbose_name_plural = "Компании"

class CourseCategory(models.Model):
    name = models.CharField("Название категории", max_length=255)
    parent_category = models.ForeignKey(
        "self",
        verbose_name="Родительская категория",
        on_delete=models.CASCADE,
        related_name="subcategory",
        null=True,
        blank=True,
    )
    description = models.TextField("Описание")
    def __str__(self):
        return self.name
    class Meta:

```



```

    verbose_name = "Категория"
    verbose_name_plural = "Категории"
class Course(models.Model):
    manager = models.ForeignKey(
        Platform, verbose_name="Организатор", on_delete=models.CASCADE
    )
    category = models.ForeignKey(
        CourseCategory,
        verbose_name="Категория",
        on_delete=models.CASCADE,
        related_name="courses",
    )
    name = models.CharField("Наименование", max_length=255)
    start_date = models.DateTimeField(
        "Дата начала",
        auto_now=False,
        auto_now_add=False,
    )
    end_date = models.DateTimeField(
        "Дата конца",
        auto_now=False,
        auto_now_add=False,
    )
    description = models.TextField("Описание")
    advantages = models.TextField("Преимущества")
    link = models.URLField("Ссылка")
    price = models.FloatField(
        "Цена",
    )
    def __str__(self):
        return self.name class Meta: verbose_name = "Курс", verbose_name_plural = "Курсы"

```

Приложение Д (обязательное)

Результаты расчётов оценки экономической эффективности электронного обучения

Листинг кода Д.1. Визуализация диаграммы размаха

```

EXAMINE VARIABLES=VAR00002 BY VAR00001
/PLOT=BOXPLOT
/STATISTICS=NONE
/NOTOTAL.
SORT CASES BY VAR00001.
SPLIT FILE SEPARATE BY VAR00001.
EXAMINE VARIABLES=VAR00002
/PLOT BOXPLOT NPLOT
/COMPARE GROUPS
/STATISTICS DESCRIPTIVES
/CINTERVAL 95
/MISSING LISTWISE
/NOTOTAL.
  
```

Таблица Д.1 – Сводный отчет по наблюдениям

Тип курса		Наблюдения					
		Допустимо		Пропущенные		Всего	
		N	Проценты	N	Проценты	N	Проценты
Стоимость	офлайн	6	100,0 %	0	0,0 %	6	100,0 %
	онлайн	6	100,0 %	0	0,0 %	6	100,0 %

Источник: разработано автором

Таблица Д.2 – Критерии нормального распределения офлайн-курса

Критерии нормального распределения						
Тип курса	Колмогорова-Смирнова			Критерий Шапиро-Уилка		
	Статистика	ст.св.	знач.	Статистика	ст.св.	знач.
Стоимость	0,207	6,000	0,200	0,883	6,000	0,282

Источник: разработано автором

Таблица Д.3 – Показатели эффективности разработанной СПВР на примере MOOK-платформы Stepik

№	Показатели	Годы		
		2020	2021	2022
1	Общее количество посещений слушателей MOOK	29123	32541	36000
2	Общее количество посещений слушателей MOOK после внедрения СПВР	29245	35600	37820
3	Количество слушателей MOOK	1700	2200	2400
4	Позиция MOOK-платформы в поисковых запросах	24	22	16
5	Количество новых слушателей	340	470	600
6	Доля слушателей коммерческих MOOK	23%	24%	26%
7	Доходы MOOK-платформы (тыс. руб.)	89884	111902	118637
8	Доходы MOOK-платформы после внедрения СПВР (тыс. руб.)	91200	114240	119824
9	Затраты на создание, внедрение СПВР на MOOK-платформу (тыс. руб.)	50	20	15
10	Затраты на продвижение СПВР на MOOK-платформе (тыс. руб.)	10	40	45
11	Затраты MOOK-платформы (тыс. руб.)	78542	93734	96937
12	ROI	14%	19%	22%
13	ROI после внедрения СПВР	16%	21%	24%

Источник: разработано автором с использованием данных https://www.audit-it.ru/buh_otchet/7814225454_ooo-tsifrovye-obrazovatelnye-resheniya

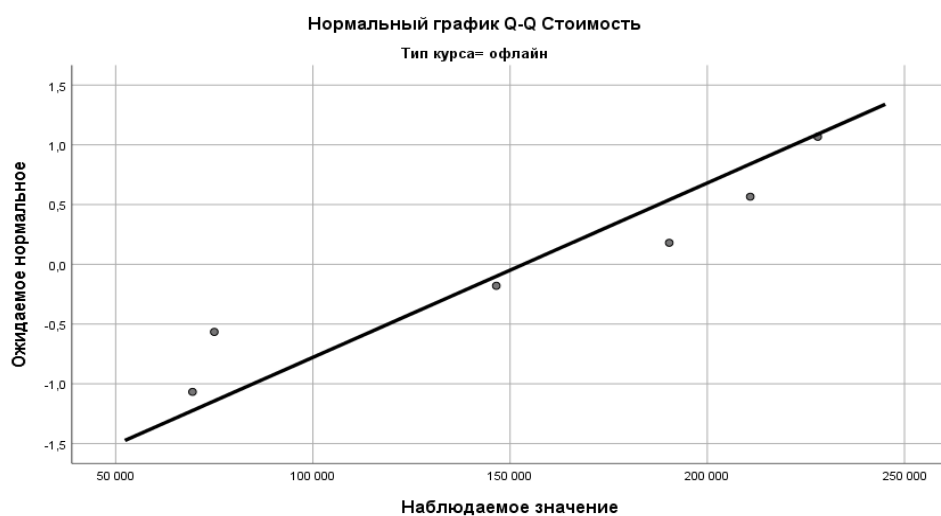


Рисунок Д.1 – Нормальный график QQ Стоимости офлайн-курса

Источник: разработано автором

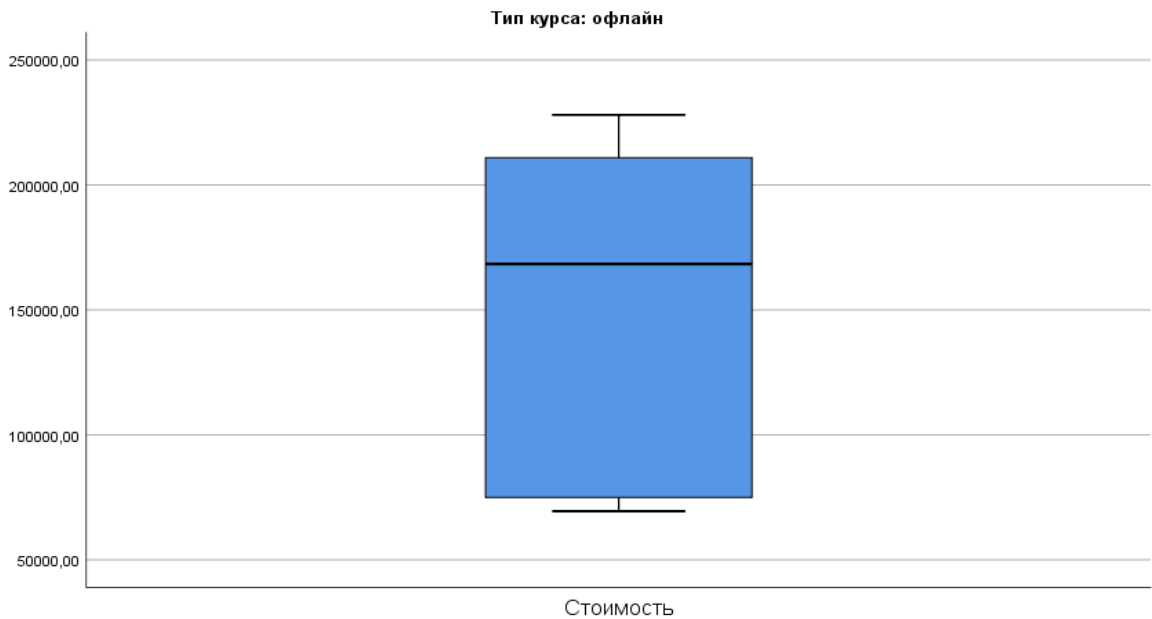


Рисунок Д.2 – Диаграмма размаха стоимости офлайн-курса

Источник: разработано автором

Таблица Д.4 – Критерии нормального распределения онлайн-курса

Показатели	Наблюдения					
	Допустимо		Пропущенные		Всего	
	N	Проценты	N	Проценты	N	Проценты
Стоимость	6	100,0 %	0	0,0 %	6	100,0 %

Источник: разработано автором

Таблица Д.5 – Описательные статистика онлайн-курса

Показатели			Статистика	Стандартная ошибка
Стоимость	Среднее		233240,00000	34023,00202
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	145781,08900	-
		Верхняя граница	320698,91100	-

Показатели		Статистика	Стандартная ошибка
	Среднее по выборке, усеченной на 5 %	235900,00000	-
	Медиана	245420,00000	-
	Дисперсия	6945388000,00000	-
	Стандартная отклонения	83338,99447	-
	Минимум	98600,00000	-
	Максимум	320000,00000	-
	Диапазон	221400,00000	-
	Межквартильный диапазон	152850,00000	-
	Асимметрия	-0,76800,00000	0,84500
	Экцесс	-0,03700,00000	1,74100

Источник: разработано автором

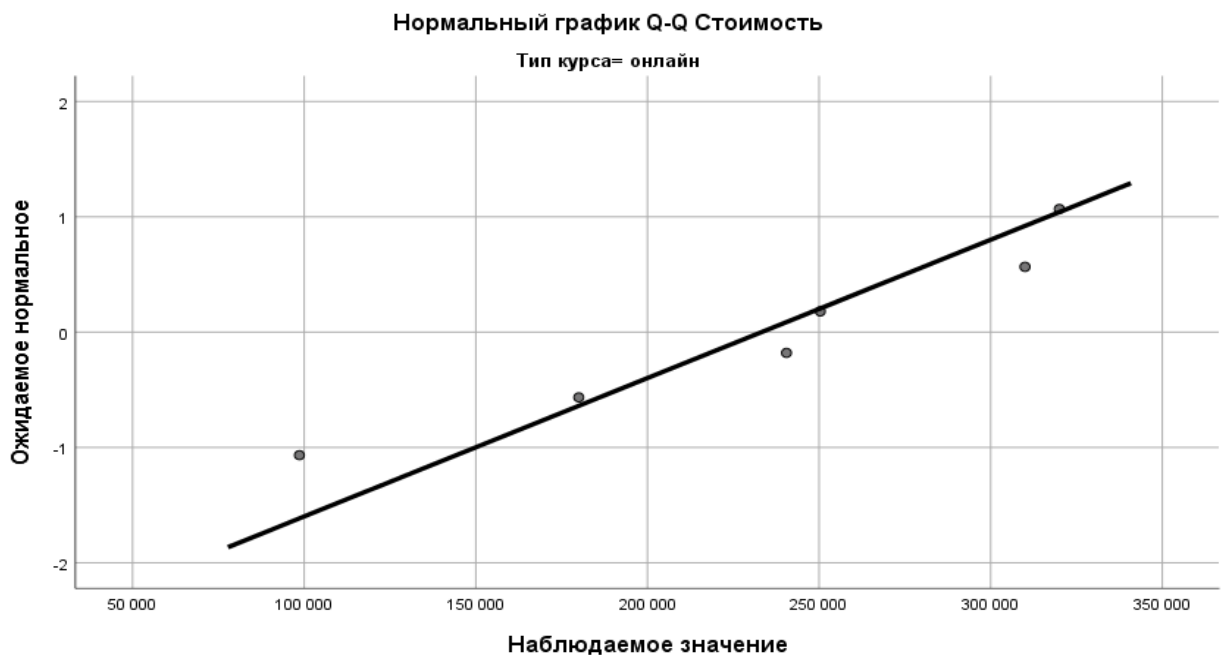


Рисунок Д.3 – Нормальный график QQ Стоимости онлайн-курса

Источник: разработано автором

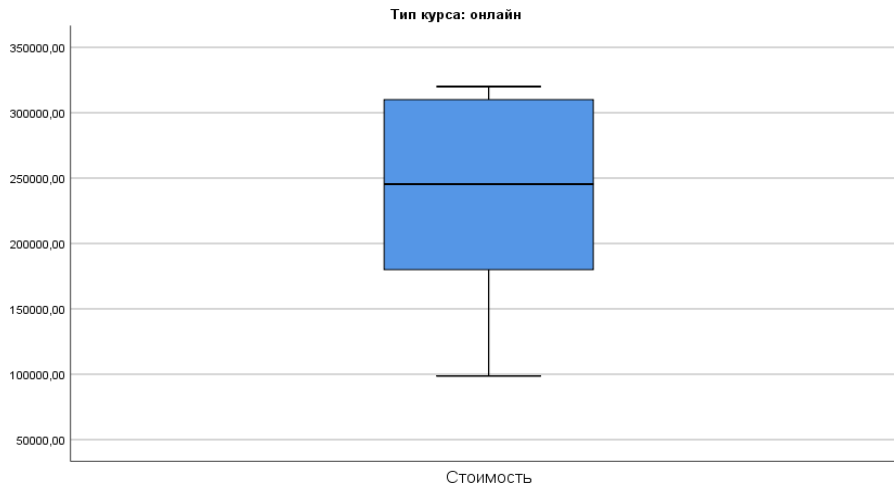


Рисунок Д.4 – Диаграмма размаха стоимости онлайн-курса

Источник: разработано автором

Таблица Д.6 – Статистика группы офлайн-курса

Тип курса			Статистика	Бутстрапер			
				Смещение	Стандартная ошибка	95 % доверительный интервал	
						Нижняя	Верхняя
Стоимость	офлайн	N	6,000				
		Среднее	153370,000	511,125	26970,209	99335,096	206314,000
		Станд. Отклон.	68516,720	8229,131	15795,660	17866,299	83692,000
		Станд. Ср.ошибка	27971,833	-	-	-	-
	онлайн	N	6,000	-	-	-	-
		Среднее	233240,000	22,544	32299,476	169260,000	292851,000
		Станд. отклонения	83338,900	11098,211	22432,695	30282,455	110700,000
		Станд. средняя ошибка	34023,002	-	-	-	-

Источник: разработано автором

Таблица Д.7 – Описательные статистики и результаты сравнения баллов по отдельным видам контрольных мероприятий по веб-программированию в онлайн-и офлайн-форматах обучения

Показатели		лекции	опрос по теме	лаб1	лаб2	лаб3	лаб4	тест	1 кт	лаб5	лаб6	Инд. проект	Чат	2 кт	экзамен
Офлайн-обучение															
Количество студентов		14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	9,00	9,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Среднее		11,71	6,79	8,43	8,43	8,00	7,14	24,57	75,07	14,67	13,89	36,07	6,14	60,57	67,82
Мода		16,00	9,00	10,00	10,00	10,00	10,00	21,00	92,00	15,00	15,00	45,00	7,00	87,00	10,50
Стандартное отклонение		6,69	4,03	2,87	2,87	2,74	4,14	2,34	20,71	1,00	2,21	19,82	3,54	32,47	25,89
Минимум		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,00	21,00	12,00	10,00	0,00	0,00	0,00	10,50
Максимум		16,00	13,00	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	92,00	15,00	15,00	60,00	10,00	97,00	94,50
Квартил и	25 %	7,50	3,50	7,75	7,75	7,75	3,75	22,50	68,50	15,00	12,50	20,00	5,25	32,75	51,75
	50 % (медиана)	16,00	8,00	10,00	10,00	8,00	10,00	25,00	81,00	15,00	15,00	45,00	7,00	68,50	74,75
	75 %	16,00	9,25	10,00	10,00	10,00	10,00	26,25	90,25	15,00	15,00	51,25	7,75	88,25	89,75
Онлайн-обучение															
Количество студентов		14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	13,00	10,00	14,00	12,00	14,00	14,00
Среднее		10,50	5,64	7,93	7,86	7,50	5,50	26,86	76,21	13,15	14,70	43,93	9,75	75,00	75,60
Мода		16,00	3,00	6,00	10,00	10,00	10,00	28,00	100,00	15,00	15,00	35,00	10,00	100,00	100,00

Показатели		лекции	опрос по теме	лаб1	лаб2	лаб3	лаб4	тест	1 кт	лаб5	лаб6	Инд. проект	Чат	2 кт	экзамен
Стандартное отклонение		6,16	3,77	2,08	2,96	3,58	5,04	4,45	22,93	2,44	0,94	12,43	0,42	19,83	19,34
Минимум		0,00	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	21,00	39,00	10,00	12,00	30,00	9,00	49,00	50,00
Максимум		16,00	14,00	10,00	10,00	10,00	10,00	40,00	100,00	15,00	15,00	60,00	10,00	100,00	100,00
Квартили	25 %	3,50	3,00	6,00	6,00	6,50	0,00	25,00	49,50	10,00	15,00	33,75	9,25	60,00	56,62
	50 % (медиана)	13,00	5,00	7,50	9,50	9,50	8,50	26,50	81,50	15,00	15,00	40,00	10,00	67,50	73,50
	75 %	16,00	8,50	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	100,00	15,00	15,00	60,00	10,00	100,00	100,00
U Манна-Уитни		80,000	78,50	76,00	83,50	95,00	83,50	58,50	89,50	40,00	38,50	75,50	22,50	74,50	87,00
p		0,38	0,36	0,26	0,45	0,88	0,46	0,07	0,69	0,11	0,43	0,29	0,01	0,27	0,61

Источник: разработано автором

Таблица Д.8 – Описательные статистики и результаты сравнения баллов по отдельным видам контрольных мероприятий по веб-технологиям в онлайн- и офлайн-форматах обучения

Показатели		лекции	опрос по теме	лаб1	лаб2	лаб3	лаб4	тест	1 кт	лаб5	лаб6	Инд. проект	Чат	2 кт	экзамен
Офлайн-обучение															
Количество студентов		11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	9,00	6,00	11,00	9,00	11,00	11,00
Среднее		13,18	6,09	8,09	7,27	7,09	5,64	22,36	69,73	12,56	13,33	37,73	8,00	61,82	65,77
Мода		16,00	0,00	10,00	10,00	7,00	0,00	19,00	77,00	15,00	15,00	40,00	7,00	47,00	53,5
Стандартное отклонение		4,70	5,09	1,92	3,04	2,77	4,61	3,58	14,32	3,08	2,58	7,862	1,50	14,32	11,28
Минимум		2,00	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	16,00	48,00	7,00	10,00	25,00	7,00	45,00	53,55
Максимум		16,00	14,00	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	91,00	15,00	15,00	50,00	10,00	87,00	86,00
Квартили	25 %	12,00	2,00	6,00	6,00	7,00	0,00	19,00	55,00	10,00	10,00	30,00	7,00	47,00	56,50
	50 % (медиана)	14,00	6,00	8,00	8,00	7,00	7,00	22,00	71,00	15,00	15,00	40,00	7,00	62,00	61,00
	75 %	16,00	10,00	10,00	10,00	9,00	10,00	25,00	84,00	15,00	15,00	45,00	10,00	73,00	76,50
Онлайн-обучение															
Количество студентов		11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	10,00	8,00	11,00	8,00	11,00	11,00
Среднее		13,73	6,91	9,18	8,91	9,18	7,91	23,45	79,27	14,20	14,63	41,36	8,25	70,91	75,09
Мода		12,00	4,00	10,00	10,00	10,00	10,00	18,00	76,00	15,00	15,00	30,00	7,00	37,00	81,5
Стандартное отклонение		2,05	2,43	1,47	1,38	1,168	4,01	4,46	5,37	1,751	1,06	11,64	1,39	19,34	10,41

Показатели		лекции	опрос по теме	лаб1	лаб2	лаб3	лаб4	тест	1 кт	лаб5	лаб6	Инд. проект	Чат	2 кт	экзамен
Минимум		10,00	4,00	6,00	7,00	7,00	0,00	18,00	68,00	10,00	12,00	30,00	7,00	37,00	52,50
Максимум		16,00	11,00	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	87,00	15,00	15,00	60,00	10,00	94,00	88,00
Квартили	25 %	12,00	4,00	8,00	7,00	8,00	7,00	18,00	76,00	14,25	15,00	30,00	7,00	60,00	70,00
	50 % (медиана)	14,00	6,00	10,00	10,00	10,00	10,00	26,00	80,00	15,00	15,00	40,00	8,00	75,00	76,00
	75 %	16,00	9,00	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	84,00	15,00	15,00	55,00	9,75	87,00	81,50
U Манна-Уитни		57,00	51,00	41,00	40,50	26,00	40,00	52,00	39,00	32,00	18,00	51,50	33,00	41,50	36,00
p		0,81	0,529	0,148	0,16	0,02	0,136	0,574	0,157	0,197	0,280	0,544	0,743	0,21	0,18

Источник: разработано автором

Таблица Д.9 – Описательные статистики и результаты сравнения баллов по отдельным видам контрольных мероприятий по алгоритмам и структурам данных в онлайн- и офлайн-форматах обучения

Показатели		опрос по темам	лаб1	лаб2	тест	1 кт	опрос по темам	лаб3	лаб4	Тест	2 кт	Зачет
Офлайн-обучение												
Количество студентов		24,00	22,00	22,00	24,00	24,00	18,00	21,00	7,00	21,00	24,00	24,00
Среднее		12,75	17,55	17,95	25,75	71,042	10,63	17,71	19,00	19,81	46,35	58,69
Мода		10,00	20,00	17,00	27,00	77,00	3,00	19,00	19,00	20,00	41,0	13,50
Стандартное отклонение		7,69	2,32	1,83	1,75	16,17	8,79	2,239	0,577	2,750	23,1697	18,024
Минимум		3,00	13,00	13,00	22,00	27,00	0,50	13,00	18,00	14,00	0,00	13,50
Максимум		29,00	20,00	20,00	29,00	98,00	30,00	20,00	20,00	24,00	92,00	90,00
Квартили	25 %	6,65	15,75	17,00	24,25	63,50	3,00	16,00	19,00	18,00	38,62	53,10
	50 % (медиана)	10,00	18,00	18,00	26,00	72,75	9,50	18,00	19,00	20,00	41,00	57,12
	75 %	19,00	20,00	20,00	27,00	81,25	15,00	19,50	19,00	22,00	62,50	72,65
Онлайн-обучение												
Количество студентов		24,00	24,00	24,00	23,00	24,00	21,00	21,00	19,00	22,00	24,00	24,00
Среднее		19,29	16,13	16,46	25,52	76,33	18,09	17,52	16,11	19,82	62,08	69,21
Мода		18,00	20,00	20,00	27,00	64,00	18,00	20,00	20,00	22,00	61,00	50,00
Стандартное отклонение		5,91	3,81	3,73	3,33	14,18	7,93	2,92	4,20	3,08	23,37	17,11

Показатели		опрос по темам	лаб1	лаб2	тест	1 кт	опрос по темам	лаб3	лаб4	Тест	2 кт	Зачет
Минимум		7,00	3,00	10,00	19,00	46,0	6,00	10,00	4,00	12,00	0,00	23,50
Максимум		30,00	20,00	20,00	30,00	100,00	36,00	20,00	20,00	24,00	100,00	100,00
Квартили	25 %	14,75	14,00	13,00	23,00	64,25	12,00	16,00	15,00	18,00	53,25	54,87
	50 % (медиана)	19,00	16,50	18,00	26,00	79,50	18,00	18,00	17,00	20,00	65,50	70,00
	75 %	23,50	19,75	20,00	28,00	87,50	23,00	20,00	20,00	22,00	77,50	80,50
U Манна-Уитни		147,50	207,50	227,50	271,00	227,50	95,50	210,00	34,50	225,00	177,00	200,50
p		0,04	0,21	0,41	0,91	0,212	0,08	0,78	0,06	0,88	0,02	0,07

Источник: разработано автором

Таблица Д.10 – Описательные статистики и результаты сравнения баллов по отдельным видам контрольных мероприятий по информатике и программированию в онлайн- и офлайн-форматах обучения

Показатели	лекции и	лаб1	лаб2	лаб3	лаб4	тест	1 кт	лаб5	лаб 6	лаб 7	лаб8	лаб9	Инд. Прое кт	2 кт	экзамен
Офлайн-обучение															
Количество студентов	12,00	11,00	11,00	12,00	12,00	11,00	12,00	11,00	7,00	8,00	10,00	9,00	12,00	12,00	12,00
Среднее	10,08	8,09	8,36	8,67	8,50	22,27	62,75	9,00	8,71	8,25	8,10	8,33	33,42	65,25	64,00

Показатели		лекци и	лаб1	лаб2	лаб3	лаб4	тест	1 кт	лаб5	лаб 6	лаб 7	лаб8	лаб9	Инд. Прое кт	2 кт	экзамен
Мода		7,00	7,00	7,00	10,00	7,00	28,00	48,00	10,00	10,00	7,00	7,00	7,00	28,00	75,00	77,00
Стандартное отклонение		8,19	1,51	1,56	1,49	1,45	5,87	20,55	1,34	1,60	1,38	1,449	1,58	6,331	10,91	12,00
Минимум		0,00	7,00	7,00	7,00	7,00	13,00	29,00	7,00	7,00	7,00	6,00	7,00	25,00	49,00	46,50
Максимум		28,0	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	96,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	45,00	85,00	80,50
Квартил и	25 %	3,00	7,00	7,00	7,00	7,00	16,00	45,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	28,00	55,75	51,75
	50 % (медиана)	8,50	7,00	7,00	9,50	8,50	20,00	64,00	10,00	10,00	8,00	8,00	7,00	32,50	63,50	64,75
	75 %	15,50	10,0	10,00	10,00	10,00	28,00	82,75	10,00	10,00	9,75	9,25	10,0	39,50	75,00	76,63
Онлайн-обучение																
Количество студентов		12,00	12,00	12,00	11,00	10,00	12,00	12,00	10,00	8,00	9,00	10,00	10,00	12,00	12,00	12,00
Среднее		16,83	8,08	8,33	8,64	8,00	22,50	70,33	8,50	8,50	8,00	8,30	8,80	36,92	69,92	70,12
Мода		20,00	7,00	10,00	10,00	7,00	28,00	73,00	7,00	7,00	7,00	7,00	10,00	35,00	73,00	55,00
Стандартное отклонение		6,67	1,78	1,82	1,56	1,82	5,266	12,61	1,51	1,64	1,50	1,49	1,54	11,34	16,26	11,27
Минимум		2,00	5,00	5,00	7,00	5,00	14,00	4,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	10,00	38,00	55,00
Максимум		28,00	10,00	10,00	10,00	10,00	28,00	87,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	50,00	100,00	86,50
	25 %	12,75	7,00	7,00	7,00	7,00	16,25	60,50	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	31,25	59,50	59,62

Показатели		лекци и	лаб1	лаб2	лаб3	лаб4	тест	1 кт	лаб5	лаб 6	лаб 7	лаб8	лаб9	Инд. Прое кт	2 кт	экзамен
Квартил и	50 % (медиана)	18,50	7,00	8,50	10,00	7,00	24,00	73,00	8,50	8,50	7,00	7,50	10,00	39,00	71,00	68,25
	75 %	20,00	10,00	10,00	10,00	10,00	27,50	77,25	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	45,00	79,25	81,87
U Манна-Уитни		32,50	66,00	66,00	65,50	50,50	63,00	55,50	47,50	26,00	33,00	44,00	38,00	49,00	57,00	49,00
р		0,02	1,00	1,00	0,97	0,49	0,85	0,34	0,55	0,78	0,74	0,63	0,59	0,18	0,38	0,14

Источник: разработано автором

Таблица Д.11 – Описательные статистики и результаты сравнения баллов по отдельным видам контрольных мероприятий по представлению и использованию знаний в онлайн- и офлайн-форматах обучения

Показатели	Тест	Лаб1	Лаб2	Лаб3	1 к.т	Лаб3	Лаб4	Лаб5	Лаб6	Тест	2 к.т.	Экзамен
Офлайн-обучение												
Количество студентов	11	11	10	11	11	5	11	9	5	11	11	11
Среднее	30,27	11,91	11,40	10,18	62,73	7,80	7,73	7,67	8,00	35,18	56,36	59,545
Мода	26	10	15	10	69	7	7	7	7	24	40	59,5
Стандартное отклонение	6,230	4,805	4,169	3,281	10,179	1,304	1,191	1,323	1,225	9,724	10,269	8,4896
Минимум	26	5	5	3	41	7	7	7	7	24	40	44,0

Показатели		Тест	Лаб1	Лаб2	Лаб3	1 к.т.	Лаб3	Лаб4	Лаб5	Лаб6	Тест	2 к.т.	Экзамен
Максимум		46	18	15	15	72	10	10	10	10	50	74	73,0
Квартили	25 %	26,00	10,00	8,00	9,00	56,00	7,00	7,00	7,00	7,00	26,00	50,00	53,000
	50 % (медиана)	28,00	10,00	12,50	10,00	67,00	7,00	7,00	7,00	8,00	36,00	57,00	59,500
	75 %	34,00	18,00	15,00	12,00	69,00	9,00	8,00	8,50	9,00	42,00	64,00	66,000
Онлайн-обучение													
Количество студентов		11	10	11	11	11	11	10	9	8	10	11	11
Среднее		36,27	11,20	10,36	9,91	66,73	8,73	8,40	8,44	10,63	38,30	65,82	66,273
Мода		28	10	10	10	83	10	7	7	10	40	76	52
Стандартное отклонение		7,363	4,315	3,802	2,071	13,469	1,489	1,506	1,509	2,925	7,009	15,993	11,3652
Минимум		28	5	3	7	49	7	7	7	7	25	40	52,0
Максимум		48	18	15	15	83	10	10	10	15	50	90	86,5
Квартили	25 %	30,00	7,00	7,00	10,00	51,00	7,00	7,00	7,00	8,50	34,50	50,00	56,500
	50 % (медиана)	35,00	10,00	10,00	10,00	65,00	10,00	8,00	8,00	10,00	39,50	70,00	63,000
	75 %	45,00	15,00	15,00	10,00	80,00	10,00	10,00	10,00	13,75	41,25	76,00	75,500
U Манна-Уитни		27,000	49,000	47,500	56,000	49,000	18,500	43,500	28,000	8,000	43,000	38,000	42,000
p		0,026	0,664	0,582	0,740	0,450	0,264	0,363	0,198	0,067	0,395	0,139	0,224

Источник: разработано автором

Таблица Д.12 – Описательные статистики и результаты сравнения баллов по отдельным видам контрольных мероприятий по статистическому анализу данных в Python в онлайн- и офлайн-форматах обучения

Показатели	л1	л2	л3	л4	л5	л6	л7	л8	л9	л10	л11	л12	л13	л14	л15	л16	Инд. задан ие	Экза мен	
Офлайн-обучение																			
Кол. студентов	12,00	12,00	12,00	13,00	12,00	10,00	12,00	7,00	7,00	9,00	9,00	7,00	13,00	10,00	10,00	13,00	11,00	14,00	
Среднее	4,08	4,25	4,42	4,46	3,92	4,00	4,50	4,14	4,14	3,89	4,00	4,00	4,08	3,90	4,70	4,08	13,00	60,29	
Мода	4,00	5,00	5,00	5,00	3,00	4,00	5,00	5	4,00	4,00	3,00	4,00	5,00	4,00	5,00	5,00	10,00	37,00	
Станд. Отклон.	0,66	0,86	0,79	0,77	0,90	0,816	0,79	0,90	0,69	0,78	0,86	0,00	0,95	0,73	0,67	0,86	2,36	14,45	
Мин.	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00	10,00	37	
Макс.	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	16,00	82	
Кв арти и	25 %	4,00	3,25	4,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00	4,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	4,75	3,00	10,00	49,50
	50 %	4,00	4,50	5,00	5,00	4,00	4,00	5,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	4,00	13,00	59,50
	75 %	4,75	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,50	5,00	4,00	5,00	4,25	5,00	5,00	15,00	75,00
Онлайн-обучение																			
Кол. студентов	14,0	14,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	12,00	10,00	12,00	12,00	13,00	11,00	10,00	12,00	14,00	
Среднее	4,43	4,36	4,23	4,00	3,85	3,69	3,77	3,92	3,85	4,25	4,00	3,75	3,92	4,69	4,82	4,60	16,67	72,93	
Мода	5,00	5,00	5,00	5,00	3,00	3,00	3,00	5,00	3,00	5,00	3,00	3,00	3,00	5,00	5,00	5,00	15,00	91,00	
Станд. Отклон.	1,01	0,84	1,09	1,08	0,98	0,85	1,01	1,11	0,90	0,96	1,05	0,86	0,99	0,63	0,60	0,69	2,67	21,55	
Мин.	2,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	12,00	24,00	

Показатели		л1	л2	л3	л4	л5	л6	л7	л8	л9	л10	л11	л12	л13	л14	л15	л16	Инд. задание	Экзамен
Макс.		5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	20	100,00
Квартили	25 %	3,75	3,75	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,50	5,00	4,00	15,00	58,00
	50 %	5,00	5,00	5,00	4,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	4,00	3,50	3,50	5,00	5,00	5,00	16,50	75,00
	75 %	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,50	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,75	5,00	5,00	5,00	5,00	19,50	91,00
У Манна-Уитни		55,50	78,00	74,50	65,00	74,00	51,00	48,00	41,0	36,0	41,0	45,0	31,5	71,0	27,5	49,5	42,5	23,50	58,50
р		0,11	0,73	0,83	0,27	0,81	0,35	0,07	0,70	0,43	0,32	1,00	0,32	0,68	0,01	0,52	0,12	0,01	0,07

Источник: разработано автором

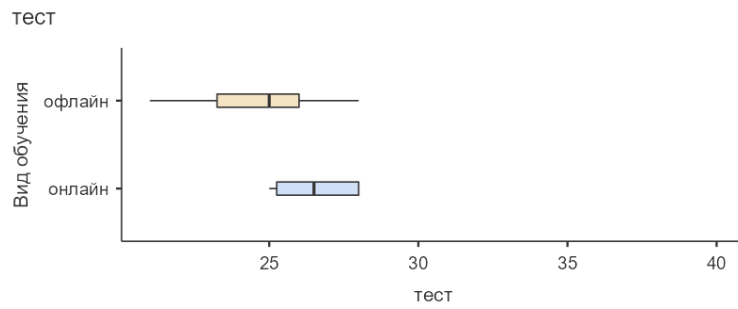


Рисунок Д.5 – Диаграмма размаха баллов за выполнение теста по веб-программированию, по форматам обучения

Источник: разработано автором

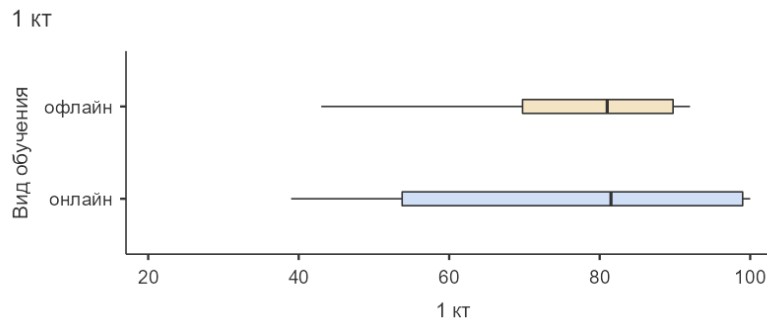


Рисунок Д.6 – Диаграмма размаха баллов по первой контрольной точке по веб-программированию, по форматам обучения

Источник: разработано автором

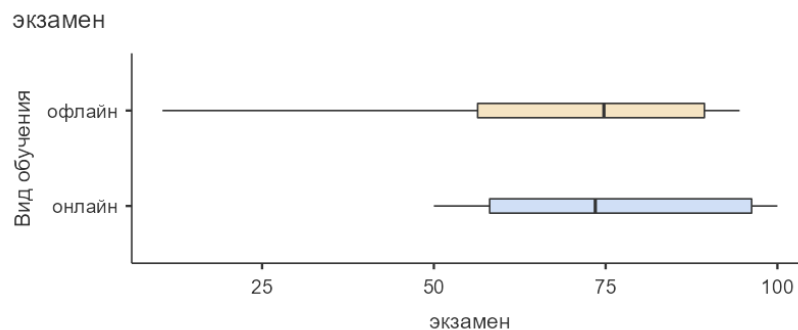


Рисунок Д.7 – Диаграмма размаха экзаменационных баллов по веб-программированию, по форматам обучения

Источник: разработано автором