

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 005.53:339.16

Михальков
Максим Дмитриевич

Модели и методы построения интеллектуальных систем поддержки
принятия решений в области электронной коммерции

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра

по специальности 7-06-0612-01 «Программная инженерия»

Научный руководитель
Нестеренков С.Н.
к.т.н., доцент

Минск 2025

ВВЕДЕНИЕ

Электронная коммерция стремительно развивается, охватывая практически все аспекты торговли и услуг. В условиях глобальной конкуренции онлайн-платформы сталкиваются с необходимостью предоставления пользователям персонализированных предложений, которые помогут повысить уровень вовлеченности, улучшить пользовательский опыт и увеличить конверсию. Одним из наиболее эффективных способов решения этой задачи является внедрение рекомендательных систем. Рекомендательные системы позволяют анализировать поведение пользователей и предлагать товары или услуги, наиболее соответствующие их предпочтениям, что значительно упрощает процесс выбора и увеличивает лояльность клиентов.

Современные рекомендательные системы, основанные на методах ИСППР, представляют собой более продвинутый уровень технологии, способный учитывать множество факторов и адаптироваться к меняющимся условиям. ИСППР применяют различные методы, такие как методы искусственного интеллекта и машинного обучения, опорных векторов, деревья принятия решений, генетические алгоритмы, которые позволяют не только предсказывать потребности клиентов, но и формировать сложные стратегии рекомендаций, учитывающие контекст, временные изменения и историю взаимодействий. Благодаря этим возможностям такие системы становятся неотъемлемой частью конкурентных стратегий многих компаний.

Для достижения поставленных в рамках диссертационной работы целей и решения задач исследования рекомендательных систем для платформ электронной коммерции на основе ИСППР будут использованы следующие методы.

Анализ и синтез литературы. Этот метод включает сбор и анализ научных публикаций, статей, докладов и обзоров по теме рекомендательных систем; сравнение существующих подходов и алгоритмов (коллаборативной фильтрации, контентной фильтрации, гибридных моделей, методов глубокого обучения); синтез полученной информации для выявления наиболее эффективных и актуальных методов построения рекомендательных систем.

Применение метода – для обоснования актуальности работы и формирования теоретической базы.

Математическое моделирование включает в себя построение математических моделей, описывающих работу рекомендательных систем, включая алгоритмы на основе матричной факторизации, графовые модели и вероятностные подходы; применение методов оптимизации для настройки параметров моделей.

Применение – разработка новых или улучшения существующих алгоритмов рекомендаций.

Методы машинного обучения и глубокого обучения представлены использованием классических алгоритмов машинного обучения (kNN, деревья принятия решений, градиентный спуск) для построения моделей рекомендаций; применение нейронных сетей (сверточных, рекуррентных, автоэнкодеров) и их гибридных архитектур для создания адаптивных рекомендательных систем.

Применение метода заключается в построении высокоточных моделей, способных адаптироваться к изменениям пользовательских предпочтений.

Экспериментальное моделирование состоит из проведения экспериментов на реальных и синтетических данных для проверки качества разработанных моделей рекомендаций; использовании метрик качества (MAE, RMSE, Precision, Recall, F1 – score, NDCG) для оценки эффективности рекомендаций.

Применение – количественное сравнения различных подходов и выбора оптимального алгоритма.

Методы визуализации данных используются для интерпретации результатов экспериментов и оценки качества рекомендаций и подразумевают построение графиков и диаграмм для анализа поведения моделей, выявления закономерностей в данных и представления результатов.

Методы сравнения и обобщения для формулирования выводов и рекомендаций по выбору методов построения рекомендательных систем в условиях электронной коммерции: сравнение различных моделей и подходов по заданным критериям – точность, адаптивность, вычислительная сложность и интерпретируемость; обобщение полученных результатов для выработки рекомендаций по применению конкретных методов в зависимости от типа электронной платформы.

Методы программной реализации для создания рабочего прототипа, который может быть протестирован в реальных условиях электронной коммерции: реализация алгоритмов с использованием библиотек Python и инструментов машинного обучения (Scikit-Learn, TensorFlow, PyTorch, Surprise); разработка прототипа рекомендательной системы, интегрированной с ИСППР.

И наконец методы оценки интерпретируемости и прозрачности алгоритмов для повышения доверия пользователей к системе и обеспечения соответствия требованиям конфиденциальности и прозрачности: применение методов интерпретируемого машинного обучения (SHAP, LIME) для объяснения решений рекомендательной системы пользователя; разработка рекомендаций по улучшению прозрачности работы алгоритмов с учетом этических аспектов.

Таким образом, использование перечисленных методов позволит не только разработать эффективную и адаптивную рекомендательную систему, но и оценить ее влияние на ключевые бизнес-показатели платформы электронной коммерции, обеспечив при этом высокий уровень интерпретируемости и прозрачности алгоритмов.

Научная новизна работы заключается в разработке и внедрении комплексного подхода к созданию рекомендательных систем для платформ электронной коммерции на основе ИСППР, а также в улучшении их точности, адаптивности и прозрачности. Основные аспекты новизны включают следующие пункты.

Разработка гибридной рекомендательной системы с динамической адаптацией. Предложен гибридный подход, который сочетает методы коллаборативной фильтрации, контентной фильтрации и глубокого обучения с динамической настройкой параметров в реальном времени на основе изменения поведения пользователей. Новизна: большинство существующих решений используют статические алгоритмы, которые не учитывают изменчивость предпочтений пользователей в реальном времени. Динамическая адаптация позволит повысить релевантность рекомендаций на быстро изменяющихся рынках.

Интеграция рекомендательной системы с ИСППР. Разработан механизм интеграции рекомендательной системы с ИСППР, который позволяет не только генерировать рекомендации, но и предлагать оптимальные стратегии для бизнеса, такие как кросс-продажи, апсейлинг и удержание клиентов. Новизна: использование интеллектуальной системы для выработки стратегических решений на основе анализа поведения пользователей и контекстных данных является новым подходом для платформ электронной коммерции.

Решение проблемы холодного старта на основе мультимодальных данных. Предложен метод решения проблемы холодного старта путем использования мультимодальных данных (текста, изображений, метаданных и внешних факторов). Это позволит рекомендательной системе генерировать релевантные рекомендации для новых пользователей и товаров. Новизна: большинство существующих решений используют либо демографическую информацию, либо контентные признаки, в то время как предложенный подход объединяет разные типы данных и учитывает их взаимосвязь.

Применение методов интерпретируемого машинного обучения для повышения прозрачности рекомендаций. Предложен подход к повышению прозрачности рекомендательной системы с использованием методов интерпретируемого машинного обучения, таких как SHAP и LIME, что позволит объяснять пользователям причины выбора конкретных рекомендаций. Новизна: современные системы редко обеспечивают пользователю объяснение своих решений, что снижает уровень доверия к рекомендациям. Внедрение объяснимых алгоритмов улучшит взаимодействие с пользователем и повысит удовлетворенность от использования системы.

Этические аспекты и защита данных. Разработаны рекомендации по обеспечению конфиденциальности и прозрачности данных пользователей при использовании рекомендательных систем. Особое внимание уделено снижению алгоритмической предвзятости и обеспечению равного доступа пользователей к

разным типам контента. Новизна: предложенный подход сочетает обеспечение высоких показателей рекомендаций с соблюдением этических норм и требований к безопасности данных, что является актуальной задачей для современных электронных платформ.

Таким образом, научная новизна работы заключается в разработке комплексного подхода к построению рекомендательной системы, способной адаптироваться к изменениям предпочтений пользователей, обеспечивать прозрачность рекомендаций, решать проблему холодного старта и оказывать непосредственное влияние на бизнес-результаты платформы электронной коммерции.

На защиту выносятся результаты исследования и разработки рекомендательных систем для платформ электронной коммерции на основе ИСППР, в том числе: разработка гибридной рекомендательной системы с динамической адаптацией, интеграция рекомендательной системы с ИСППР, метод решения проблемы холодного старта с использованием мультимодальных данных, использование методов интерпретируемого машинного обучения для повышения прозрачности рекомендаций, оценка воздействия рекомендательной системы на ключевые бизнес-метрики платформы электронной коммерции, этические аспекты и защита данных пользователей.

Эти положения, предложенные в работе, способствуют улучшению качества рекомендаций, увеличению доходности платформ электронной коммерции, а также обеспечивают высокий уровень прозрачности и доверия со стороны пользователей.

Практическая значимость исследования обусловлена разработкой эффективной и гибкой рекомендательной системы, способной решать актуальные задачи электронной коммерции, такие как повышение конверсии, увеличение среднего чека и удержание клиентов. Основные аспекты практической значимости заключаются в повышении эффективности продаж, решении проблемы холодного старта для новых товаров и пользователей, поддержки стратегического принятия решений, повышении лояльности пользователей, улучшении пользовательского опыта, оптимизации бизнес-процессов, соответствии современным стандартам безопасности и конфиденциальности.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка и обоснование методов повышения эффективности рекомендательных систем путем интеграции подходов ИСППР для предоставления более персонализированных и обоснованных рекомендаций.

Для достижения главной цели были поставлены следующие задачи:

- анализ теоретических основ и методов: изучить современные подходы к разработке рекомендательных систем и их классификацию; исследовать принципы функционирования ИСППР и их возможности для интеграции с рекомендательными системами;
- разработка методологии: выявить основные требования и критерии к эффективности рекомендательных систем на базе ИСППР; разработать алгоритмы и подходы, сочетающие ИСППР и методы машинного обучения;
- экспериментальное исследование: провести тестирование разработанных методов на реальных или симулированных данных; сравнить эффективность различных алгоритмов и подходов;
- оценка результатов и выводы: разработать критерии оценки эффективности (точность, релевантность, пользовательское восприятие); сформулировать рекомендации для внедрения предложенных решений в практические приложения;
- практическая реализация: создать прототип системы, интегрирующей методы ИСППР и рекомендательных алгоритмов; оценить возможности адаптации предложенной системы в прикладных областях (электронная коммерция).

Эти цели и задачи направлены на то, чтобы не только углубить понимание теоретических основ рекомендательных систем, но и предложить инновационные решения для их улучшения.

Объектом исследования являются рекомендательные системы для платформ электронной коммерции, ИСППР в области электронной коммерции и подходы к интеграции ИСППР с рекомендательными системами.

Предметом исследования являются алгоритмы, используемые в рекомендательных системах (машинное обучение, коллаборативная фильтрация, контентная фильтрация, гибридная фильтрация); принципы интеграции методов ИСППР в работу рекомендательных систем; эффективность и точность рекомендаций; особенности обработки больших данных для предоставления персонализированных рекомендаций; роль когнитивных моделей в формировании рекомендаций.

Основной *гипотезой*, положенной в основу диссертационной работы, является тот факт, что интеграция методов ИСППР в работу рекомендательных систем повышает эффективность и точность персонализированных рекомендаций в области электронной коммерции.

Личный вклад соискателя

Все исследования, результаты которых изложены в диссертации, получены лично соискателем в процессе научных исследований и экспериментов. Вклад научного руководителя, С. Н. Нестеренкова, заключается в формулировке целей и задач исследования.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации и материалы исследования докладывались на следующих конференциях:

- Международная научная конференция «Информационные технологии и системы 2023» (22 ноября 2023 года, БГУИР);
- XI Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в образовании, науке и производстве» (21–22 ноября 2023 года, БНТУ);
- Международная научно-практическая конференция «Инженерный бизнес – 2023» (22–24 ноября 2023 года, БНТУ);
- X международная научно-практическая конференция BIG DATA and Advanced Analytics (13 марта 2024 года, БГУИР);
- XI международная научно-практическая конференция BIG DATA and Advanced Analytics (23–24 апреля 2025 года, БГУИР);
- 61-я научная конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (22–26 апреля 2025 года, БГУИР);
- XV международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (24–26 апреля 2025 года, БГУИР).

Опубликованность результатов диссертации

Некоторые аспекты и результаты научного исследования опубликованы в 7 научных работах, в том числе 6 статьях в материалах конференций, включая 1 статью в сборнике научных трудов из перечня рецензируемых изданий ВАК, и 1 тезисе докладов.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений. В первой главе представлен анализ предметной области, выявлены основные существующие проблемы в рамках тематики исследования, показаны направления их решения. Вторая глава посвящена разработке архитектуры моделей и алгоритмов рекомендательной системы и ИСППР, а также подходов к их интеграции. В третьей главе рассматривается практическая реализация программного средства, которая включает модуль предобработки данных, модуль рекомендательной системы, модуль ИСППР, модуль визуализации результатов работы и модуль интеграции системы в уже функционирующие платформы электронной коммерции. В четвертой главе рассматриваются вопросы, связанные с планированием и проведением компьютерного эксперимента.

Общий объем работы составляет 100 страниц, из которых основного текста – 94 страницы, 19 рисунков на 16 страницах, 6 таблиц на 5 страницах, список использованных источников из 30 наименований на 3 страницах и 4 приложения на 6 страницах.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация включает введение, общую характеристику, четыре главы, заключение, список использованных источников, перечень публикаций автора и приложения.

Введение посвящено обоснованию актуальности разработки интеллектуальных рекомендательных систем для платформ электронной коммерции с применением методов ИСППР (интеллектуальных систем поддержки принятия решений). Представлены используемые в работе методы, такие как машинное обучение, математическое моделирование и интерпретируемый искусственный интеллект, а также обозначены цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость создаваемой системы.

В первой главе выполнен анализ предметной области, охватывающий современные подходы к построению ИСППР и рекомендательных систем. Выявлены основные проблемы, возникающие при их проектировании и внедрении, а также определены перспективные направления их решения с учётом требований к адаптивности, масштабируемости и интеграции в цифровые платформы.

Вторая глава посвящена разработке архитектуры моделей и алгоритмов рекомендательной системы и ИСППР. Рассмотрены методы построения моделей, обеспечивающих персонализацию рекомендаций и поддержку принятия решений на основе анализа пользовательских данных. Описаны подходы к интеграции указанных компонентов в единую гибридную интеллектуальную систему.

В третьей главе изложены особенности практической реализации программного средства, включающего следующие функциональные модули: модуль preprocessing данных, модуль рекомендательной системы, модуль ИСППР, модуль визуализации результатов, а также модуль интеграции системы с действующими платформами электронной коммерции. Подробно описана архитектура системы, взаимодействие между компонентами и технические решения, обеспечивающие её работоспособность.

Четвёртая глава содержит описание планирования и проведения компьютерного эксперимента, направленного на оценку эффективности разработанной системы. Приведены критерии оценки, экспериментальные данные и анализ результатов, демонстрирующих работоспособность и практическую применимость предложенного подхода.

В заключении подведены итоги проведённого исследования, сформулированы основные выводы, а также намечены направления для дальнейших исследований в области интеллектуальных систем поддержки принятия решений и рекомендательных технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Проведено экспериментальное исследование на реальных и синтетических датасетах, в рамках которого подтверждена гипотеза о том, что использование элементов ИСППР позволяет повысить точность, обоснованность и адаптивность рекомендаций в сценариях электронной коммерции [1–А, 2–А, 3–А].

2. Разработана концептуальная архитектура рекомендательной системы, ИСППР и алгоритмы машинного обучения. Предложенный подход обеспечивает более высокую персонализацию и адаптивность рекомендаций за счёт использования когнитивных моделей и экспертных правил в сочетании с данными пользовательского поведения и предпочтений [4–А, 5–А].

3. Разработаны и реализованы алгоритмы интеграции ИСППР в рекомендательные системы, включающие гибридные схемы принятия решений, использующие как формализованные знания, так и обучаемые модели. Предложенные алгоритмы обеспечивают улучшение точности рекомендаций в условиях ограниченности или неоднородности данных [6–А].

4. Создан программный прототип рекомендательной системы с интегрированными модулями ИСППР, реализующий разработанные подходы и алгоритмы. Система успешно протестирована в демонстрационном режиме, подтверждая свою применимость для задач персонализированного маркетинга, повышения лояльности клиентов и автоматизации рекомендательных процессов [6–А].

5. Предложены критерии оценки эффективности рекомендательных систем на базе ИСППР, включающие точность и релевантность выдаваемых рекомендаций [7–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанная архитектура и алгоритмы могут быть использованы при создании и модернизации рекомендательных систем в электронной коммерции, где необходима персонализация решений на основе как данных, так и экспертных знаний.

2. Предложенные методики оценки эффективности рекомендательных систем применимы для аудита и оптимизации существующих решений, позволяя выявить узкие места и повысить доверие со стороны конечных пользователей за счёт объяснимости и адаптивности рекомендаций.

3. Полученные научные результаты могут быть использованы в учебном процессе при подготовке специалистов в области искусственного интеллекта, систем поддержки принятия решений и рекомендательных систем, а также в прикладных исследованиях по анализу пользовательского поведения.

4. Программный прототип может служить основой для создания коммерческого программного обеспечения, нацеленного на интеллектуализацию пользовательского опыта в системах e-commerce, рекомендательной аналитике и цифровом маркетинге.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1-А. Михальков, М. Д. Модели и методы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений / М. Д. Михальков // Информационные технологии и системы 2023 (ИТС 2023) = Information Technologies and Systems 2023 (ITS 2023) : материалы Международной научной конференции, Минск, 22 ноября 2023 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2023. – С. 67–68.

2-А. Михальков, М. Д. Модели и методы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений / М. Д. Михальков // Информационные технологии в образовании, науке и производстве [Электронный ресурс] : материалы XI международной научно-технической конференции, Минск, 21-22 ноября 2023 г. / сост. М. Г. Карасёва. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 439-443.

3-А. Михальков, М. Д. Модели и методы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений в области электронной коммерции = Models and methods for constructing intelligent decision support systems in the field of e-commerce / М. Д. Михальков // Инженерный бизнес [Электронный ресурс] : сборник материалов IV Международной научно-практической конференции в рамках 21-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике» 22-24 ноября 2023 г. / редкол.: О. С. Голубова [и др.] ; сост. О. С. Голубова. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 235-239.

4-А. Михальков, М. Д. Преимущества и недостатки эмпирических моделей интеллектуальных систем поддержки принятия решений в области электронной коммерции = Advantages and disadvantages of empirical models of intelligent decision support systems in the field of e-commerce / М. Д. Михальков // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 201–207.

5-А. Михальков, М. Д. Моделирование персонализированной рекомендательной системы на основе глубокого обучения = Modeling a personalized recommendation system based on deep learning / М. Д. Михальков, С. Н. Нестеренков // Big Data и анализ высокого уровня = Big Data and Advanced Analytics : сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции, Республика Беларусь, Минск, 23–24 апреля 2025 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники [и др.] ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2025. – С. 281–289.

6-А. Михальков, М. Д. Модель интеллектуальной системы поддержки принятия решений и процесс ее интеграции с персонализированной рекомендательной системой = Model of intelligent decision support system and the process of its integration with the personalised recommendation system / М. Д. Михальков // Электронные системы и технологии : сборник материалов 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 21–25 апреля 2025 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2025. – С. 155–158.

7-А. Kovsher, E. Application of Semantic Technologies in a Model of Automatic Recognition and Analysis of Elements in Images of the Earth's Surface = Применение семантических технологий в модели автоматического распознавания и анализа элементов на снимках земной поверхности / E. Kovsher, M. Mikhalkov // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) : сборник научных трудов / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск, 2025. – Вып. 9. – С. 267–272.