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

УДК 004.658:005.511

Лукашевич
Анна Эдуардовна

Разработка программного модуля предиктивной аналитики бизнес-показателей предприятий розничной торговли и его интеграция в системы Business Intelligence

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра
по специальности 7-06-0611-07 Бизнес-аналитика и цифровой маркетинг

Научный руководитель
Черемисинова Л.Д.
Доктор технических наук, профессор

Минск 2026

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современной цифровой экономики предприятия розничной торговли сталкиваются с необходимостью оперативного и точного анализа больших объемов данных, чтобы принимать обоснованные управленческие решения, адаптироваться к изменениям рынка и сохранять конкурентоспособность. Высокий уровень конкуренции и изменяющееся потребительское поведение требуют от компаний не только анализа текущего состояния бизнеса, но и способности предсказывать будущие тенденции. В этом контексте на первый план выходит предиктивная аналитика, как один из ключевых инструментов поддержки принятия решений.

Предиктивная аналитика представляет собой использование статистических моделей, методов машинного обучения и обработки больших данных (Big Data) для прогнозирования будущих событий на основе выявленных закономерностей в исторических данных. Ее применение в розничной торговле открывает широкие возможности для ценообразования, управления запасами, планирования маркетинговых кампаний и повышения лояльности клиентов.

На практике эффективная реализация и использование системы предиктивной аналитики требует накопления больших объемов качественных исторических данных, на основании которых будут обучены предиктивные модели. Накопление исторических данных осуществляется в централизованных хранилищах данных, которые являются критически важным элементом, поскольку объединяют данные из разрозненных информационных систем предприятия в единую точку правды.

Для более быстрого принятия решений и обработки информации, модели предиктивной аналитики должны быть интегрированы в системы бизнес-аналитики (Business Intelligence или BI). Системы Business Intelligence, предназначенные для сбора, обработки, анализа и визуализации бизнес-данных. Интеграция модулей предиктивной аналитики в BI-системы способна существенно расширить их функциональность, обеспечив непрерывный аналитический контур от сбора данных до генерации прогнозов и формирования рекомендаций для принятия решений.

Настоящая магистерская диссертация посвящена изучению практических подходов к построению корпоративных хранилищ данных, методов предиктивной аналитики и методов интеграции предиктивной аналитики в BI-системы. Практическим результатом является разработка программного модуля

предиктивной аналитики бизнес-показателей для предприятий розничной торговли и его интеграции в систему Business Intelligence.

Актуальность темы обусловлена объективной потребностью предприятий розничной торговли в интеллектуальной поддержке принятия решений.

Цель диссертации: исследование методов предиктивной аналитики, методов интеграции модулей предиктивной аналитики в BI-системы, методологий проектирования хранилищ данных, как основы для обучения предиктивных моделей, разработка программного модуля, обеспечивающего внедрение предиктивных моделей в процессы анализа бизнес-показателей предприятий розничной торговли, с последующей интеграцией в BI-систему.

Для достижения этой цели в диссертации решаются следующие задачи:

– исследование систем Business Intelligence, исследование существующих методов предиктивной аналитики, применимых для прогноза показателей розничной торговли, исследование подходов к интеграции предиктивной аналитики и BI, исследование методологий моделирования хранилищ данных;

– разработка программного модуля (проектирование архитектуры, хранилища данных, разработка и обучение прогнозных моделей на основе исторических данных, интеграции разработанного модуля с BI-системой);

– оценка качества предиктивных моделей.

Используемые научные методы: анализ, синтез, системный анализ, сравнительный анализ, методы машинного обучения.

Научная и практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов при проектировании и внедрении систем предиктивной аналитики в составе BI-систем предприятий розничной торговли. Предложенное решение ориентировано на практическое применение и может быть адаптировано для малых и средних предприятий розничной торговли, использующих BI-платформы для анализа своей деятельности.

Ключевые слова: предиктивная аналитика, бизнес-аналитика, системы Business Intelligence (BI), розничная торговля, хранилища данных, прогнозирование бизнес-показателей, машинное обучение, анализ больших данных, поддержка принятия управленческих решений, интеграция аналитических систем.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами

Тема диссертационной работы соответствует пункту 1 приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь на 2021–2025 гг., утвержденных Указом Президента Республики Беларусь №156 от 7 мая 2020 г. *«Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на них производства»*. Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка программного модуля предиктивной аналитики бизнес-показателей предприятий розничной торговли и его интеграция в системы Business Intelligence для повышения эффективности поддержки управленческих решений.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие задачи:

1. Определены ключевые бизнес-показатели предприятий розничной торговли и исследованы основные методы предиктивной аналитики, применимые для их прогнозирования;
2. Проведен анализ существующих систем Business Intelligence, проведена оценка их функциональных возможностей, возможность применения и потенциал их внедрения на белорусском рынке;
3. Исследованы архитектурные подходы к построению корпоративных хранилищ данных как основы функционирования систем предиктивной аналитики.
4. Исследованы методы интеграции предиктивной аналитики с BI-системами, выявлены существующие подходы и ограничения их практического применения;
5. Разработана модель корпоративного хранилища данных, ориентированная на поддержку задач предиктивной аналитики и прогнозирования ключевых бизнес-показателей предприятий розничной торговли.
6. Спроектирована общая архитектура системы, сформулированы функциональные и нефункциональные требования, а также выбраны оптимальные инструменты, библиотеки и программные решения для её реализации;

7. Разработан программный модуль предиктивной аналитики, реализующий прогнозирование ключевых бизнес-показателей (выручки, прибыли, количества проданных единиц по торговым точкам, сегментацию покупателей) на основе исторических данных корпоративного хранилища;

8. Разработанный модуль интегрирован в BI-систему, обеспечив визуализацию, интерпретацию и применение прогнозных результатов в аналитических процессах предприятия;

9. Оценена точность предиктивных моделей, эффективность работы интегрированного решения, а также определены возможности дальнейшего развития и масштабирования системы.

Личный вклад соискателя ученой степени

Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в аналитическом обзоре и обосновании выбора методов предиктивной аналитики и анализа временных рядов для прогнозирования бизнес-показателей предприятий розничной торговли, разработке архитектуры и модели корпоративного хранилища данных, проектировании и программной реализации модуля предиктивной аналитики, а также его интеграции в систему бизнес-аналитики Apache Superset. Автором выполнена постановка и проведение вычислительных экспериментов по оценке точности прогнозных моделей, обработка и анализ полученных результатов, разработка аналитических дашбордов и формулировка выводов по результатам исследования. Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились совместно с *научным руководителем доктором технических наук, профессором Л.Д. Черемисиновой.*

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 60-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск.

Опубликование результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 8 печатных работ, в том числе: 8 статей и тезисов в сборниках и материалах конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка, четырех приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 128 страниц, из них 78 страниц текста, 53 рисунка на 16 страницах, 26 таблиц на 11 страницах, список использованных библиографических источников (91 наименование наименования на 7 страницах), список публикаций автора (8 наименований на 2 страницах), 4 приложения на 14 страницах.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Разработана и реализована модульная архитектура системы предиктивной аналитики с интеграцией в BI-систему, обеспечивающая централизованное хранение, обработку и анализ данных малых и средних предприятий розничной торговли. Архитектура включает хранилище данных на основе СУБД PostgreSQL, ETL-процессы и оркестрацию вычислений с использованием Apache Airflow, модуль предиктивной аналитики на языке Python и систему бизнес-аналитики Apache Superset с реализацией аналитических дашбордов, отражающих основные бизнес-показатели розничной торговли. Разработанная архитектура обеспечивает масштабируемость, гибкость и независимое развертывание и развитие отдельных компонентов системы.

2. Разработан и реализован программный модуль предиктивной аналитики бизнес-показателей розничной торговли, основанный на методах анализа временных рядов и машинного обучения, а также сформированы критерии оценки качества прогнозирования. Модуль обеспечивает прогнозирование выручки, прибыли и объёма продаж (ARIMA, Prophet, XGBoost), с учётом трендов и сезонных колебаний и сегментацию клиентской базы. Достигнутый уровень точности прогнозов MSE = 1,64–1,94, RMSE = 1.28–1.39 является достаточным для практического применения на предприятиях малого и среднего бизнеса.

3. Доказана практическая значимость и применимость разработанной системы предиктивной и бизнес-аналитики для предприятий розничной торговли. Система обеспечивает автоматическое обучение моделей, генерацию прогнозов и аналитическую поддержку управленческих решений и может быть адаптирована под специфику конкретных организаций, расширена для расчёта дополнительных показателей и интегрирована с существующими информационными системами.

Проверка на уникальность

Проведена экспертиза диссертации *Лукашевич Анна Эдуардовна «Разработка программного модуля предиктивной аналитики бизнес-показателей предприятий розничной торговли и его интеграция в системы Business Intelligence»* на корректность использования заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: https://antiplagiat.ru) в on-line режиме 05.01.2026 г. В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов (оригинальность диссертационной работы составляет 82,19%).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы магистерской диссертации, обусловленная необходимостью повышения качества и оперативности принятия управленческих решений на предприятиях розничной торговли в условиях цифровой экономики, роста объёмов данных и высокой конкуренции. Показана роль предиктивной аналитики и систем Business Intelligence в анализе исторических данных, выявлении тенденций и сезонных колебаний, а также в прогнозировании ключевых бизнес-показателей. Сформулированы цель и задачи исследования, определены используемые научные методы, раскрыта научная и практическая значимость работы.

В первой главе «Исследование систем Business Intelligence» рассмотрены исторические аспекты развития BI-систем, их сущность, классификация и функциональные возможности. Проанализирована роль BI-систем в повышении эффективности деятельности предприятий розничной торговли за счёт централизации данных и аналитической поддержки управленческих решений. Рассмотрены методы Data Mining и предиктивной аналитики (наивный, регрессионный анализ, MA/SES/ARMA/ARIMA/SARIMA, логистическая регрессия, метод k-ближайших соседей, деревья решений, случайный лес, k-средних (k-means) кластеризация, XGBoost, Prophet, RFM, ассоциативные правила) применяемые для прогнозирования бизнес-показателей розничной торговли, а также рассмотрены архитектурные подходы к интеграции модулей предиктивной аналитики в BI-системы для формирования единого аналитического контура.

Во второй главе «Теоретические основы проектирования систем Business Intelligence с интеграцией методов предиктивной аналитики» исследованы концепции Big Data как базового элемента построения современных аналитических систем на предприятиях розничной торговли. Рассмотрены основные подходы к

реализации систем предиктивной аналитики (SEMMA, CRISP-DM, KDD), методы интеграции данных из разрозненных информационных систем с целью построения единых централизованных источников данных (ETL, ELT, CDC, стриминговая интеграция, виртуализация данных). Проанализированы архитектурные подходы к проектированию хранилищ данных, обеспечивающих эффективное хранение, обработку и подготовку информации для обучения предиктивных моделей и последующей визуализации результатов в BI-системах (реляционное моделирование, размерное моделирование (схемы «звезда», «снежинка»), модель Data Vault 2.0.).

В третьей главе «Проектирование модуля предиктивной аналитики и его интеграция в BI-систему» определены функциональные и нефункциональные требования к разрабатываемой системе. Спроектирована модульная архитектура аналитической системы, включающая хранилище данных, ETL-процессы, модуль предиктивной аналитики и BI-систему. Реализован программный модуль предиктивной аналитики с использованием методов анализа временных рядов и машинного обучения (ARIMA, Prophet, XGBoost, RFM), обеспечивающий прогнозирование выручки, прибыли, объёма продаж и сегментацию клиентской базы. Выполнена интеграция разработанного модуля с BI-системой Apache Superset и создан набор интерактивных аналитических дашбордов для визуализации исторических и прогнозных показателей. Представлены результаты разработки и рассмотрены перспективы дальнейшего развития и расширения системы.

В заключении обобщены основные результаты исследования, подтверждена практическая значимость разработанной системы предиктивной аналитики и бизнес-аналитики, а также обоснована возможность её внедрения на предприятиях малого и среднего бизнеса в сфере розничной торговли, адаптации под специфику конкретных организаций, расширения перечня прогнозируемых показателей и интеграции с существующими информационными системами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы был разработан программный модуль предиктивной аналитики бизнес-показателей предприятий розничной торговли и проведена его интеграция в свободно распространяемую систему бизнес аналитики (Business Intelligence, BI) Apache Superset. При выполнении работы были получены следующие основные результаты.

1. Проведен аналитический обзор и сравнение существующих методов предиктивной аналитики и их возможное применение в контексте погнозирования основных бизнес-показателей розничной торговли. Выбраны базовые бизнес-показатели и выбраны для практической реализации четыре интерпретируемых предиктивных метода (ARIMA, Prophet, XGBoost и RFM) для прогнозирования выбранных бизнес-показателей. Для оценки точности прогнозной модели выбран показатель среднеквадратичной ошибки MSE и корень из среднеквадратичной ошибки RMSE, выбран необходимый уровень точности MSE = 1,6–2,0; RMSE = 1,2–1,4 достаточный для прогнозирования показателей в условиях малых и средних предприятий розничной торговли. Выбранные методы предиктивной аналитики обеспечили необходимую точность прогнозирования, а также позволили учитывать тренды и сезонные колебания.

2. Проведено исследование подходов к проектированию хранилищ данных – источников данных для обучения предиктивных моделей. Проведено исследование BI-решений, доступных для малых и средних предприятий розничной торговли в условиях Республики Беларусь. Выбраны оптимальные для использования BI-решения. Проведено исследование методов интеграции BI-систем и предиктивной аналитики. Сформулированы требования к архитектуре хранилищ и методов интеграции данных для реализуемой системы предиктивной аналитики, включая использование централизованного хранилища данных, обеспечивающего хранение, обработку и подготовку информации для задач прогнозирования и аналитической визуализации в розничной торговле.

3. На основе выбранных для прогнозирования бизнес-показателей и выбранных для реализации методов предиктивной аналитики (ARIMA, Prophet, XGBoost и RFM), разработан модуль предиктивной аналитики. В рамках модуля реализовано прогнозирование выручки, прибыли и объёма продаж и сегментации клиентской базы, что позволяет решать задачи планирования финансовых потоков, оптимизации запасов и оценки рисков оттока клиентов.

4. Исследованы подходы к интеграции модулей предиктивной аналитики и BI. Разработана и программно реализована модульная архитектура системы

предиктивного анализа данных, в основе которой лежит разделение системы на независимые функциональные модули, каждый из которых отвечает за строго определённый набор задач и может разрабатываться, развёртываться и сопровождаться отдельно. В качестве таких компонентов выделены хранилище данных на основе реляционной СУБД PostgreSQL для загрузки данных из источников и их обработки; оркестратор рабочих процессов Apache Airflow для запуска процедур обновления данных в хранилище данных и аналитическом хранилище; модуль предиктивной аналитики на языке Python (с использованием специализированных библиотек) и BI-система Apache Superset для визуализации аналитических и прогнозных данных в виде интерактивных дашбордов.

5. Разработана и реализована программная система предиктивной аналитики и бизнес-аналитики для предприятий розничной торговли, обеспечивающая централизованное хранение и обработку данных, автоматическое обучение моделей, генерацию прогнозов и их интеграцию в BI-систему Apache Superset с визуализацией основных показателей. Разработан набор аналитических дашбордов «Продажи», «Прогнозы продаж», «Точки продаж», «Покупатели» использующих как исторические данные хранилища, так и прогнозные, полученные посредством обработки исторических данных модулем предиктивной аналитики.

Разработка может быть внедрена на предприятиях малого и среднего бизнеса, адаптирована к их специфике, расширена для расчёта дополнительных показателей и интегрирована с существующими информационными системами, что подтверждает её практическую значимость и масштабируемость.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в сборниках трудов конференций, съездов, симпозиумов

1. Любина, А. А. Анализ качества сайтов: инструменты и методики / А. А. Любина, А. Э. Лукашевич, Ю. Ю. Петрович // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий: сборник тезисов и статей докладов 60-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 201–203.
2. Сараф, Р. О. Использование BI-систем в банковской сфере / Р. О. Сараф, А. Э. Лукашевич, Ю. Ю. Петрович // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий: сборник тезисов и статей докладов 60-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 221–223.
3. Асташёнак, Н. С. Использование нейросетей для формирования корпоративной стратегии / Н. С. Асташёнак, А. Э. Лукашевич, Ю. Ю. Петрович // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий: сборник тезисов и статей докладов 60-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 228–230.
4. Павлов, Е. С. Программно-аналитическое обеспечение MarTech-систем на примере чат-ботов / Е. С. Павлов, Ю. Ю. Петрович, А. Э. Лукашевич // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий: сборник тезисов и статей докладов 60-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 114–118.
5. Кулеш, А. В. Прорывные технологии, их проблемы и возможности / А. В. Кулеш, А. Э. Лукашевич, Ю. Ю. Петрович // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий: сборник тезисов и статей докладов 60-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 280–282.
6. Лукашевич, А. Ю. Современные технологии в продвижении бренда территории / А. Ю. Лукашевич, В. А. Гришанович, А. Э. Лукашевич // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий: сборник тезисов и статей докладов 60-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и

студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 304–306.

7. Давидюк, М. В. Сравнительный анализ бесплатных и платных антивирусных программ / М. В. Давидюк, В. И. Дивнель, А. Э. Лукашевич // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий : сборник тезисов и статей докладов 60-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 306–310.

8. Кулеш, А. В. Цифровые решения для сельского хозяйства Республики Беларусь: CRM и ERP-системы = Digital solutions for agriculture in the Republic Of Belarus: CRM and ERP systems / А. В. Кулеш, А. Э. Лукашевич, Ю. Ю. Петрович // Актуальные вопросы экономики и информационных технологий: сборник материалов докладов 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 20–25 апреля 2025 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2025. – С. 81–84.