

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

УДК 004.852

Зюсько
Кирилл Дмитриевич

**Управление складами и программная поддержка основных процессов
деятельности с интеллектуальными средствами обеспечения принятия
управленческих решений**

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени
магистра информатики и вычислительной техники

по специальности 1-40 81 04 – Обработка больших объемов информации

Научный руководитель
Комличенко Виталий Николаевич
Доцент, кандидат технических наук

Минск 2020

Работа выполнена на кафедре информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **КОМЛИЧЕНКО Виталий Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экономической информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **ГУЛЯКИНА Наталья Анатольевна**, кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой по научной работе учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «24» июня 2020 г. года в 10⁰⁰ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. Гикало, 9, копр. 4, ауд. 112, тел. 293-85-91, e-mail: inform@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Склады – это здания, сооружения и разнообразные устройства, предназначенные для приемки, размещения и хранения различных материальных ценностей, подготовки их к потреблению и отпуску потребителям. Основное назначение складов – концентрация запасов, их хранение и обеспечение бесперебойного и ритмичного снабжения потребителей. В свою очередь это требует эффективно функционирующих основных процессов деятельности складов и результативных систем поддержки принятия управленческих решений.

Высокая динамика процессов экономической деятельности и обмена ресурсами, сложность этапа принятия управленческих решений требует новых, нетрадиционных подходов и автоматизированной поддержки систем и средств нового типа. Она также обостряет проблему эффективности управления, рациональной организации и оптимизации текущих и будущих ресурсов, переводит вопросы эффективного управления складскими процессами в разряд сложных интеллектуальных задач, требует привлечения средств и разработки систем интеллектуальной поддержки принятия решений.

Задача разработки информационных систем является одной из самых актуальных на сегодняшний день. Часто она рассматривается в контексте создания хранилищ документов и их систематизации, с целью облегчения поиска необходимой информации. Несмотря на важность этих вопросов, функциональных возможностей, предоставляемых существующими информационными системами, зачастую бывает недостаточно. В современных условиях большого информационного потока, а также обширных объемов информационных ресурсов, главной задачей является создание таких систем, которые могли бы обеспечить поддержку принятия управленческих решений, используя последние разработки в сфере искусственного интеллекта, тем самым помогая вести бизнес и управлять им, а не просто упорядочивать данные.

Поэтому современные информационные системы должны быть способны решать весь комплекс задач, связанных с управлением потоком входящих данных – предоставлять рекомендации по ведению бизнеса, предоставлять подробную информацию о текущих проблемах, предлагать средства решения этих проблем, показывать глобальный вектор развития и так далее.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В современных условиях большого информационного потока, а также обширных объемов информационных ресурсов, главной задачей при построении автоматизированных информационных систем является уже не организация основных процессов конкретной предметной области с помощью программного обеспечения, а построение такой системы, которая, помимо всех

стандартных функций информационных систем, может правильно обрабатывать данные, полученные от пользователей, и, основываясь на этих данных, может правильно их интерпретировать и давать конечному пользователю конкретные шаги, в улучшении чего-либо (в качестве примеров можно использовать предоставление скидок в розничной торговле, или, например, различные рекомендательные системы).

В данной работе рассматривается возможность разработки информационной системы с возможностями обеспечения принятия управленческих решений с помощью интеллектуальных средств, в частности: предложениями по оптимизации геолокации и структуре складских помещений, модулем прогнозирования клиентского поведения основанном на результатах предыдущих и будущих управленческих решений и многих других. Проектируемая система будет реализовывать все вышеперечисленные функции таким образом, что пользователю не надо будет знать всех тонкостей работы. Простым перебором параметров он сможет понимать, в какую сторону и направлении ему стоит или не стоит продолжать развивать свой бизнес.

На данный момент схожих решений среди большого множества и разнообразия WMS-систем не существует, что свидетельствует об актуальности темы исследования.

Степень разработанности проблемы

Данное исследование включает в себя две предметные области: алгоритмы машинного обучения и WMS-системы. На основе изучения проблем и недостатков, которые сейчас существуют в WMS-системах и возможностей алгоритмов машинного обучения, способных решать различные задачи, строится предложение о создании нового решения, новой концепции WMS-системы.

Данные области, которые исследуются в данной работе, хорошо изучены. Первые упоминания об алгоритмах, которые сейчас активно используют в машинном обучении и на которых строились многие другие алгоритмы, относятся к концу 1950-х началу 1960-х годов, что свидетельствует о их зрелости и надёжности. Доменная область WMS-систем также хорошо изучена: спецификации требований и функциональные возможности многих WMS-систем находятся в открытом доступе, а принципы их функционирования детально описаны в соответствующих документах.

Несмотря на детальную разработку требований и спецификаций к WMS-системам, есть один нюанс, который, практически, не рассматривается – изменение функциональных требований, выставляемых к современным информационным системам. Дело в том, что складская деятельность на протяжении долгого времени остаётся неизменной. И системы, которые разрабатывались в 90-х начале 2000-х годов до сих пор работают и покрывают тот функционал, для которого они создавались. В данной работе изучается именно эта проблема, и детально рассматривается каждый аспект предметных областей.

Таким образом, предложенное исследование направлено именно на исследование функциональных возможностей современных информационных

систем, исследование возможностей машинного обучения, изучения различий, между функциональными возможностями современных информационных систем и существующих WMS-систем, и разработке новой концепции WMS-системы с интеллектуальными средствами обеспечения принятия управленческих решений.

Цель и задачи исследования

Цель данной работы – повышение результативности управления складами на основе автоматизации основных процессов деятельности и внедрения средств и методов искусственного интеллекта в процессы принятия управленческих решений.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи:**

- 1) проанализировать теоретические основы, концепции и средства, используемые в принятии управленческих решений;
- 2) исследовать методы и средства эффективного управления складскими процессами;
- 3) разработать подход и концепцию создания инструментальной системы, интегрирующий лучшие стратегии, методы работы с данными и позволяющей осуществлять эффективное прогнозирование;
- 4) интегрировать интеллектуальные средства обеспечения принятия управленческих решений в существующую систему.

Объект исследования

Объектом исследования выступают методы, модели и средства управления складами и процессы принятия решений в управлении складской деятельности, алгоритмы прогнозирования в частности, основанные на базе машинного обучения и искусственного интеллекта, и функциональные возможности существующих WMS-систем.

Предмет исследования

Предметом исследования выступают методы и системы поддержки процессов управления складами и принятия управленческих решений в работе с большими объёмами информации, а также WMS-системы.

Область исследования

Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-40 81 04 «Обработка больших объёмов информации».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты исследований в области решений задач прогнозирования, кластеризации и машинного обучения. Были использованы также труды известных авторов, таких как В. Е. Снитюк, В. М. Курейчик, С. Б. Картиев, А. В. Алжеев, Э. Е. Тихонов, S. N. Siami, A. N. Siami

по сравнительному анализу алгоритмов и описанию их прикладного использования.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна и значимость полученных результатов работы заключается в разработке алгоритма для решения задачи прогнозирования спроса на товар в условиях меняющейся размерности входных данных.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложена методика анализа данных, отличающаяся от известных и популярных методик тем, что применение результатов данного анализа в системе управления складами позволяет пользователем данной системы более эффективно моделировать реакции на изменение каких-либо факторов за счёт использования алгоритмов машинного обучения, прогнозировать поведение рынка и даже предлагать возможные решения, направленные на улучшение целесообразности работы складской организации. Также предложено эффективное архитектурное решение, в основе которого положено использование распределённой микросервисной архитектуры, позволяющее интегрировать модуль анализа данных в любую существующую систему управления складами.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что разработанная система реализует базовые принципы обеспечения поддержки принятия управленческих решений, отличающиеся от существующих тем, что данные решения создаются с помощью ИИ, являются более точными, достоверными и обоснованными. Используя данную систему можно не только повысить результативность и операционную деятельность конкретных складских помещений, при этом минимизировав накладные расходы, за счёт более оптимального распределения средств и запасов, но также можно будет помочь некоторым клиентам найти специфическую нишу, тем самым распределив компании таким образом, что при прочих равных условиях можно будет получать такой же товарооборот с таким же капиталоборотом, при этом заметно сократив расходы на использование земельного и других природных ресурсов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Новая концепция WMS-системы с использованием интеллектуальных средств управления, построенная на базе искусственного интеллекта и позволяющая поддерживать принятие управленческих решений.
2. Алгоритм прогнозирования, позволяющий строить долгосрочные прогнозы с минимально возможной погрешностью.
3. Распределённая архитектура системы, основанная на микросервисах, позволяющая интегрировать модуль прогнозирования в любую существующую WMS-систему.

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы изложены в 2 опубликованных работах. Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 10 страниц.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, общей характеристики работы, введения, пяти глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе рассмотрены теоретические концепции, методы и средства в процессах управления деятельности складов, рассказано про системы управления складами (WMS) и принципы их работы.

Во второй главе исследованы самые популярные WMS-системы, проведён их сравнительный анализ, выявлены их возможности и недостатки (выявлено, что во всех системах отсутствует какая-либо интеграция ИИ), рассмотрены use case использования ИИ в других сферах, и на основании всего этого сделано предположение о новой концепции WMS (в основе которой лежит модуль прогнозирования).

В третьей главе проведён анализ классических подходов к прогнозированию, определены особенности каждого подхода и особенности требований, к разрабатываемой системе. Рассмотрена группа алгоритмов, которая может решить поставленную задачу. Описаны исходные данные и проблема, которая возникает ввиду специфических требований. Предложено решение (использование предварительной кластеризации к данным) и проведено сравнение точности всех рассматриваемых алгоритмов (с целью выбора итогового).

В четвёртой главе рассмотрен процесс разработки архитектуры создаваемой системы, начиная от high order overview, где рассказывается про общее взаимодействие компонент системы и организацию этого взаимодействия, и заканчивая обоснованием выбора технологий. Также уделено внимание проблеме ввода модуля ИИ в непрерывное использование.

В пятой главе представлен прототип (в виде рабочего приложения) новой концепции WMS-системы, с детальным описанием получившихся функциональных возможностей (основанных на прогнозировании с использованием алгоритмов машинного обучения), которые позволяют облегчить и упростить процесс принятия управленческих решений.

В приложении представлен код конфигурации нейронной сети, листинг кода системы и основные слайды презентации.

Общий объем диссертационной работы составляет 99 страницы (из них 81 страница основного текста). Работа содержит 24 иллюстрации, 5 таблиц, библиографический список из 29 наименований, список собственных публикаций соискателя из 2 наименований и 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены актуальные проблемы складского хозяйства, современное состояние и проблемы, указаны основные направления исследований, проводимых по данной тематике, а также описано обоснование актуальности темы.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований и научная (теоретическая и практическая) значимость исследований.

В **первой главе** дано описание предметной области, в частности рассказано об основных операциях, которые происходят на складе. Также были выделены три основных этапа становления складского хозяйства, рассказано о текущей ситуации, существующих проблемах и мотивации использования WMS-систем (сокращение накладных расходов за счёт автоматизации, увеличение прибыли), а также рассмотрены принципы работы данных систем. После этого были рассмотрены некоторые альтернативные методы оптимизации. В качестве заключения была выдвинута гипотеза о создании программного продукта с возможностью помощи в принятии управленческих решений.

Во **второй главе** были детально рассмотрены наиболее популярные WMS-системы, а также был проведён сравнительный анализ их функциональных возможностей. Для проведения данного анализа были определены следующие системы:

- Solvo WMS;
- GESTORI PRO;
- 1С-Логистика.

Для каждой из данных систем были детально описаны их функциональные возможности, а также была показана занятая ими доля рынка. Далее, на основании рассмотренных функциональных возможностей, был проведён анализ наиболее важных критериев функциональности, результаты которого отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика наиболее популярных WMS

Функциональность	Solvo WMS	GESTORI PRO	1С-Логистика
Визуализация складских помещений	Да	Да	Да
Разделение по должностям/ролям	Нет	Нет	Да
Статистические данные	Нет	Частично	Да
Доступ к интеллектуальным средствам управления	Нет	Нет	Нет
Менеджмент и трекинг персонала	Да	Нет	Да
Геолокационный модуль	Частично	Да	Нет
Генерации и экспортов отчётов	Да	Да	Да

Исходя из данного анализа, был сделан вывод о том, что в данных системах отсутствуют какие-либо инструментальные методы управления с использованием интеллектуальных средств управления. После этого были приведены требования, предоставляемые к современным информационным системам, а также описаны причины появления этих требований и технологии, благодаря которым это стало возможным (технологии ИИ). Далее были рассмотрены области применения ИИ: розничная торговля, аналитика поведения и т. д.

В качестве итога данного исследования и анализа была выдвинута новая концепция WMS-системы с модулем интеллектуальных средств управления: предсказание поведения клиентов, оптимизация геолокации и структуры складских помещений. Также была дана основная характеристика того, как это должно выглядеть с точки зрения пользователя.

В третьей главе основной фокус уделён поиску подходящему алгоритму прогнозирования. Сначала рассматриваются классические подходы и методы предсказания спроса: начиная от добавления буфера безопасности и различным методам его расчёта, заканчивая моделями временных рядов, таких как ARMA, ARIMA и другие. Также выделяются основные требования к алгоритму:

- возможность обучаться одновременно на всех данных, которые доступны в системе (не только для одного конкретного склада);
- инкапсулирование всей извлечённой информации в себе;
- поиск сложных и нелинейных зависимостей.

В процессе рассмотрения классических методов решения задачи и спецификации всех требований, сделан вывод, что для вышеприведённых целей данные алгоритмы не подходят. В качестве альтернативы было предложено рассмотрение другой группы алгоритмов (машинное обучение), которые могут решить выше поставленные задачи. Среди основных алгоритмов было предложено использование: линейной регрессии (и её полиномиальный вид), деревья решений (и их ансамбли – случайный лес и градиентный бустинг), нейронная сеть (и её рекуррентный вариант).

После описания каждого из этих алгоритмов и задач, решаемых с помощью них, была рассмотрена структура данных, с которой необходимо работать и на основе которой нужно делать предсказание. Основным камнем преткновения является тот факт, что входящая размерность данных постоянно изменяется. Это связано с особенностью разрабатываемой WMS-системы. Дело в том, что обычные WMS-системы создаются и настраиваются, чаще всего, для одного склада – т. е. вся информация, хранимая в БД, ограничена лишь одним складом. Разрабатываемая WMS-система представляет собой онлайн ресурс (сайт), где любая компания, владеющая складами, может зарегистрироваться и начать использование. Отсюда и происходит требование об обучаемости на всех данных (ведь если алгоритм будет обучаться на всех данных всех складов, то он сможет найти нелинейные зависимости между различными изменениями, что, потенциально, положительно скажется на качестве предсказания). Но, так как алгоритмы машинного обучения могут работать с кате-

гориальными признаками только в системе one-hot кодирования (по сути, каждый склад расценивается как отдельная категория), а, как было сказано, количество складов может меняться с течением времени (регистрация новых клиентов), то появляется проблема меняющейся размерности входных данных. Данная проблема влияет на несколько аспектов:

- необходимость переучивать модель после каждого добавления склада (что в условиях реального приложения, практически, нереально, ввиду нескольких причин: большие вычислительные мощности и необходимость постоянного мониторинга обучения);
- отсутствие информации о влиянии геолокации на формирование ценообразования.

В качестве решения данной проблемы было предложено использование алгоритма кластеризации для предварительной обработки данных (в данной работе использовался алгоритм k-средних). Использование данного алгоритма даёт много преимуществ, среди которых:

- уменьшение размерности входных данных;
- приведение количества входных параметров к постоянному значению;
- возможность определять группы складов и искать взаимосвязь между геолокацией и ценообразованием.

Результат кластеризации показан на рисунке 1.

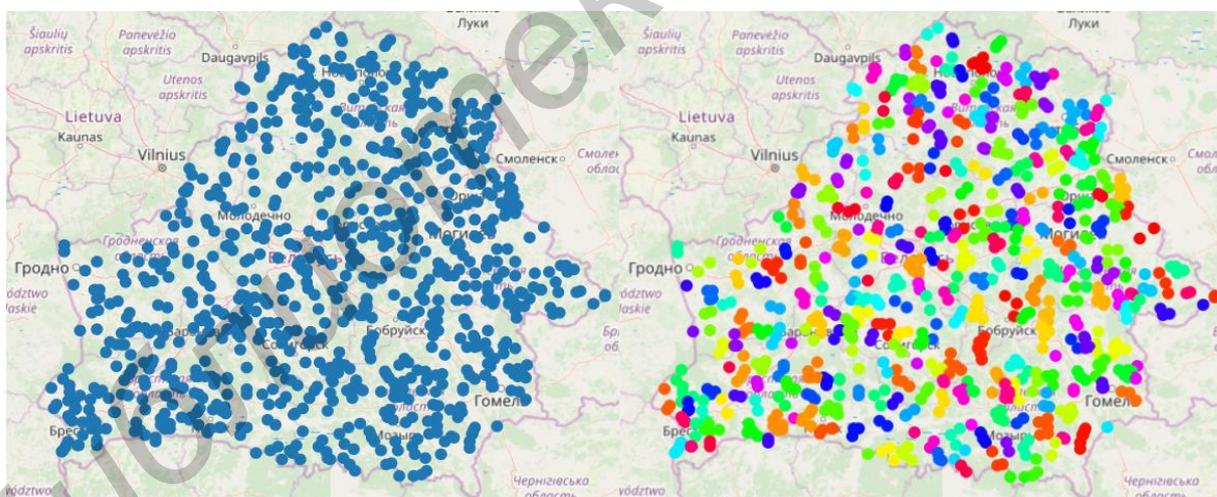


Рисунок 1 – Данные до и после кластеризации

У данного подхода есть один нюанс – выбор необходимого количества кластеров. Обычно данную проблему решают с помощью «локтевого метода» (когда выбирается определённое возможное количество кластеров, далее считается ошибка для каждого кластера и выбирается такое количество, когда последующее увеличение количества кластеров не приводит к значительному уменьшению ошибки). Для использования в данной работе данный метод пришлось немного изменить, а именно – считать ошибку не от кластеризации, а от обучения итоговой модели на данном количестве кластеров.

После того, как подготовка данных для обучения была завершена, было произведено сравнение вышеописанных алгоритмов, результаты которого приведены в таблице 2. Чтобы сравнение происходило в относительно одинаковых условиях был применён ряд техник, таких как использование одинакового количества эпох обучения для нейронных сетей, разная предварительная обработка временных данных для разных алгоритмов, одинаковые вычислительные сложности алгоритмов и ряд других техник, помогающих свести погрешности к минимуму.

Таблица 2 – Сравнение значений MSE ошибки разных алгоритмов

Алгоритм	Train	Test
Линейная регрессия	3.946e6	4.038e6
Полиномиальная регрессия	2.712e6	2.815e6
Деревья решений	2.268e6	2.290e6
Случайный лес	1.248e6	1.220e6
Градиентный бустинг	2.243e6	2.116e6
Нейронная сеть	1.109e6	1.054e6
Рекуррентная нейронная сеть	1.231e6	1.197e6

Как видно из таблицы выше, нейронная сеть оказалась наиболее эффективным алгоритмом обработки данных, однако рекуррентная нейронная сеть и случайный лес также показали хорошие результаты.

В качестве заключения в этой главе приводится возможная интерпретация полученных прогнозов.

В четвёртой главе дано описание всей инфраструктуры и архитектуры проектируемого приложения (рисунок 2), а также обоснование выбора используемых технологий.

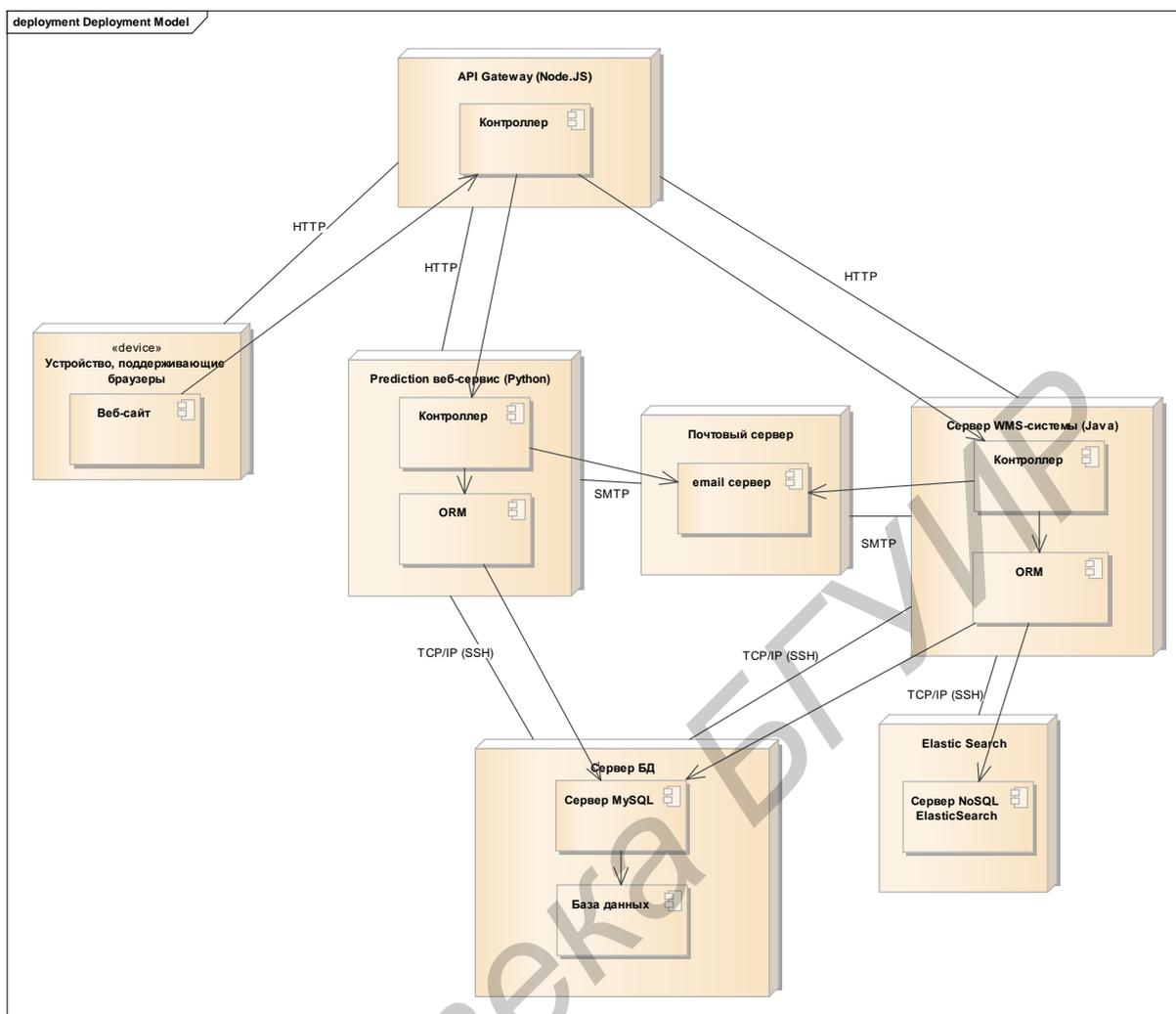


Рисунок 2 – Диаграмма развёртывания системы

Для разработки модуля прогнозирования в диссертации был сделан обоснованный выбор в сторону Python, ввиду нескольких причин:

- быстродействие в контексте задач вычисления;
- кроссплатформенный язык общего назначения;
- популярность как инструмента для анализа данных.

Основная WMS-система была написана на Java. Поэтому был нужен механизм межязыкового взаимодействия – в данной работе было решено использовать микросервисную архитектуры. Для того, чтобы облегчить взаимодействие с фронтенд частью и поддерживать консистентность и гайдлайны разработки распределённой архитектуры было решено ввести шлюз (gateway). Данный шлюз был написан с использованием Node.JS. Выбор в пользу Node.JS был сделан по нескольким причинам:

- использование концепции неблокирующего I/O и событийно-ориентированного программирования;
- использование JS как динамического языка без строгой типизации, что сказывается на лёгкости и скорости написания кода;
- простота функциональных требований, предоставляемых к gateway;
- высокая производительность.

Для каждого из компонентов микросервисной архитектуры (gateway, модуль прогнозирования, WMS-система, БД) была введена контейнеризация, для того, чтобы развёртывать и разрабатывать компоненты независимо друг от друга, а также сделать их изолированными друг от друга.

Изменения коснулись также и БД. Ввиду увеличивающейся нагрузки была применена техника репликации master-slave (с тремя slave-нодами). Также было введено версионирование базы с помощью FlyWay, помогающее поддерживать консистентность БД с используемым программным обеспечением.

Также в этой главе было уделено внимание процессу ввода модуля прогнозирования в непрерывное использование. Проблема использования моделей машинного обучения для прогнозирования временных рядов состоит в том, что временные данные имеют свойство меняться с течением времени. Таким образом, модель, обученная некоторое время назад, не сможет точно предсказывать актуальные данные. Для устранения этой проблемы существуют два метода решения: обучение по расписанию и онлайн обучение. В данной работе были рассмотрены оба подхода, а также преимущества и недостатки каждого из них. Оба подхода в данной работе работали примерно одинаково, однако вариант с онлайн-обучением давал чуть более точные прогнозы, поэтому он и был использован в итоговой системе.

В пятой главе представлено программное решение создаваемой WMS-системы и дано описание всех функциональных возможностей.

Итоговая WMS-система обладает следующим функционалом:

- способность к прогнозированию спроса на ближайшие 7 дней при текущих условиях;
- возможность вариативного прогнозирования (прогнозирование реакции на изменение каких-либо параметров, например, цены аренды);
- автоматический поиск оптимальной конфигурации склада (с помощью планировщика, для поиска кратковременных и более рациональных тактик использования складских помещений);
- конструктор виртуального склада (то же вариативное прогнозирование, но с большим количеством параметров – местоположение, вместительность проектируемого склада и т. д.).

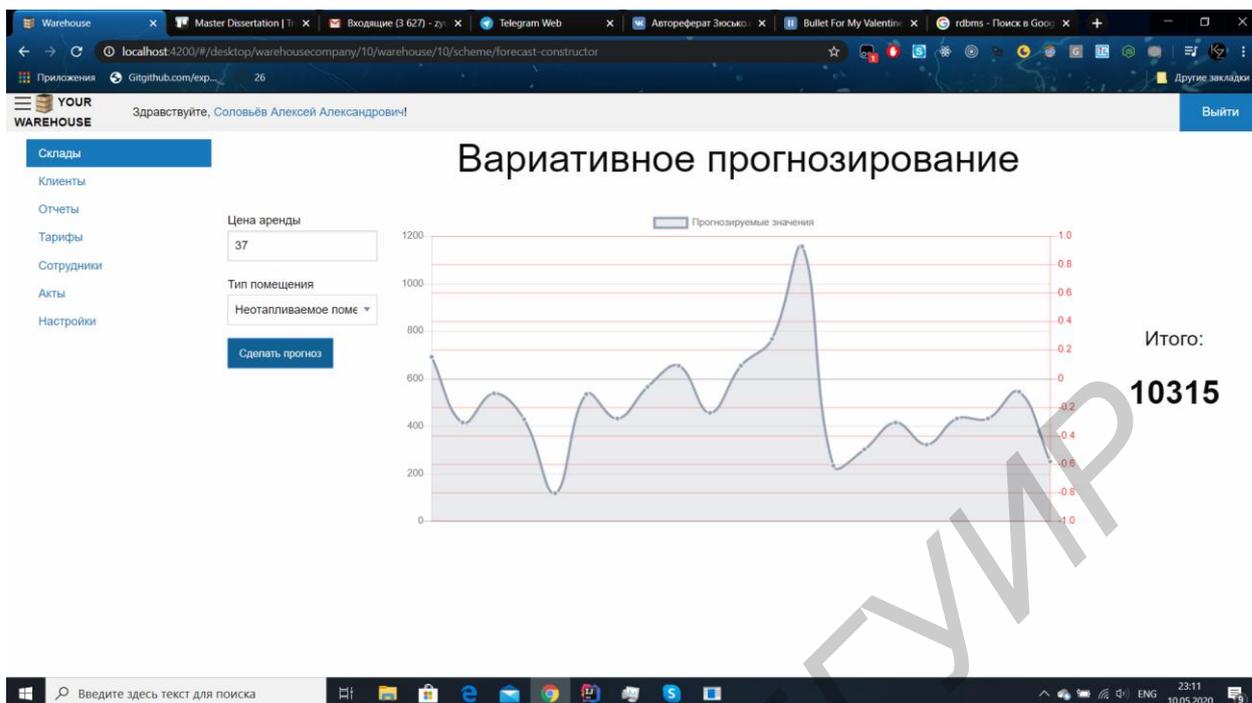


Рисунок 3 – Страница вариативного прогнозирования

Данная глава, по сути, содержит в себе руководство по использованию программного продукта, где показаны все шаги и все возможности получившейся информационной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Предложена новая концепция WMS-систем с использованием интеллектуальных средств управления, построенная на базе искусственного интеллекта и позволяющая поддерживать принятие управленческих решений. Данная концепция выдвинута на основе выполненного анализа функциональных возможностей существующих WMS-систем, в котором выявлено, что в настоящее время в отечественных и зарубежных системах управления складами отсутствуют интеллектуальные средства обеспечения принятия управленческих решений.

2. Предложен алгоритм прогнозирования, состоящий из двух этапов – предварительная обработка с кластеризацией и итоговый алгоритм прогнозирования. Данный алгоритм предложен на основании результатов исследования различных алгоритмов прогнозирования и анализа особенностей исходных данных. Проведено сравнение различных алгоритмов прогнозирования, в ходе которого был выбран лучший – глубокая нейронная сеть.

3. Разработана распределённая архитектура, позволяющая интегрировать модуль прогнозирования в любую существующую WMS-систему.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученная в работе модель очень хорошо нашла взаимосвязи в исходных данных, несмотря на то, что данных было много (порядка 900 складов для которых была собрана ежедневная статистика на протяжении трёх лет). Это свидетельствует о том, что модель выбрана верно. Поэтому данная модель может быть использована в реальных WMS-системах, однако надо учитывать то, что модель, возможно, надо будет переобучить на более актуальных данных (если, например, склады будут находиться в другой стране).

Также механизм прогнозирования, включающий в себя кластеризацию и последующий алгоритм машинного обучения, можно использовать в любых других смежных областях, таких как: розничная торговля, управление цепочками поставок и так далее.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1-А. Зюсько К. Д. Управление складами и программная поддержка основных процессов деятельности с интеллектуальными средствами обеспечения принятия управленческих решений // Международный научно-практический журнал «Экономика и качество систем связи» 2019. №1(11). URL: <http://nirit.org/wp-content/uploads/2019/06/журнал-1112019-26.06.pdf>

2-А. Зюсько К. Д. Прогноз спроса на товар с помощью нейронных сетей в условиях меняющейся размерности входных данных // Международный научно-практический журнал «Экономика и качество систем связи» 2020. №1(15). URL: <http://nirit.org/wp-content/uploads/2020/05/журнал-115.pdf>