

КОНЦЕПЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ НОВОГО ПОДХОДА К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ПРОДАЖ ТОВАРНЫХ ЗАПАСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

CONCEPT AND IMPLEMENTATION OF A NEW APPROACH TO INVENTORY SALES FORECASTING USING MACHINE LEARNING METHODS

A. Mikryukov

Summary. This article reveals a conceptual model for forecasting sales of inventory using machine learning methods. The issues reflected in the article are particularly relevant in the context of the need to optimize inventory management using applied methods and computer technologies based on machine learning. The purpose of the scientific research is to develop a new approach to forecasting sales of inventory using machine learning methods. To achieve this goal, the article presents a general description of the use of the machine learning concept in retail; provides an overview of inventory management methods in retail; reflects the results of the development of a method for forecasting sales of inventory based on machine learning models.

Keywords: machine learning methods; inventory; sales forecasting; new approach; concept; retail.

Микрюков Алексей Александрович

Аспирант, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск
9127771067@mail.ru

Аннотация. В данной статье раскрывается концептуальная модель прогнозирования продаж товарных запасов с использованием методов машинного обучения. Отражаемые в статье вопросы приобретают особую актуальность в условиях необходимости оптимизации управления товарными запасами с использованием прикладных методов, компьютерных технологий, основанных на машинном обучении. Цель научного исследования состоит в разработке нового подхода к прогнозированию продаж товарных запасов с использованием методов машинного обучения. Для достижения поставленной цели в статье представлена общая характеристика использования концепции машинного обучения в ритейле; приведен обзор методов управления товарными запасами в ритейле; отражены результаты разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов на основе моделей машинного обучения.

Ключевые слова: методы машинного обучения; товарные запасы; прогнозирование продаж; новый подход; концепция; ритейл.

Введение

В ритейле процесс стратегирования продаж, обусловленный необходимостью анализа и математического моделирования огромных массивов информации, планомерно стал центральным звеном увеличения отраслевой конкурентоспособности компаний. Кроме того, в настоящее время отмечается тренд на наращивание объёма внешних и внутренних данных, характеризующих потребительское поведение, конверсию продаж, охват покупательской аудитории. Возникновение разных методов машинного обучения привело к новым возможностям автоматизации процесса продаж товарных запасов. Такие возможности способствуют тому, что компании в ритейле могут использовать автоматизированные инструменты изменения стоимости товарных запасов в качестве ответной реакции на покупательский спрос, объёма и качества товарных запасов в динамике, а также рыночного поведения целевой аудитории. Автоматизация операций даёт возможность увеличить эффективность операционной деятельности ритейлеров, усовершенствовать равновесие между степенью удовлетворенности покупательской аудитории и рентабельностью продаж товарных запасов.

Особое значение для ритейлеров в настоящее время имеет возможность прогнозирования продаж товарных запасов с высокой надёжностью и точностью. Для принятия обоснованных бизнес-решений о приобретении товарных запасов, их управлении и распределении нужны прогнозы продаж. Уровень их точности воздействует на результативность процессов ритейлеров. Прежде всего, прогнозирование продаж товарных запасов предполагает определение закономерностей в реализации товарной продукции, наблюдаемых по конкретным временным интервалам.

В условиях волатильного покупательского спроса классические математические модели прогнозирования, как правило, являются низкоэффективными. Поэтому необходимы актуальные подходы к прогнозированию продаж товарных запасов, базирующихся на современных аналитических методах, в частности, на машинном обучении. Именно данный метод способен учитывать разнообразие факторов, воздействующих на управление товарными запасами в организационных системах, а также изучать ретроспективные данные в целях наиболее точного определения трендов и закономерностей в реализации товарной продукции [5].

Цель работы — разработка нового подхода к прогнозированию продаж товарных запасов с использованием методов машинного обучения.

Для достижения поставленной цели в статье необходимо решить следующие задачи:

1. Представлена общая характеристика использования концепции машинного обучения в управлении организационными системами.
2. Приведен обзор методов управления товарными запасами в организационных системах.
3. Отражены результаты разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов на основе моделей машинного обучения.

Материалы и методы

Для осуществления аналитического обзора методов управления товарными запасами в организационных системах был осуществлен анализ теоретических и эмпирических источников академической литературы, аналитических документов, отражающих особенности управления товарными запасами в организационных системах, а также параметры достижения эффективности методов управления товарными запасами, используемых в организационных системах, применялись методы индукции, дедукции, сопоставления, систематизации.

Помимо вышеуказанных методов, автором статьи для разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов на основе моделей машинного обучения использовались системный подход, метод машинного обучения, обработки информационных данных, математического моделирования и прогнозирования продаж, аддитивные модели, метод дифференцирования данных.

Общая характеристика использования концепции машинного обучения в управлении организационными системами

Использование концепции машинного обучения оказывает существенное воздействие на разные секторы национального экономического комплекса, в том числе ритейл и смежные с торговлей отрасли, в которых динамика показателей продаж обусловлена теоретическими и эмпирическими научными исследованиями, посвященными изучению эффективности использования концепции машинного обучения в рассматриваемом отраслевом секторе и смежными с ним [3].

В частности, С.В. Кузнецов считает, что традиционные статичные методы ценообразования в ближайшее время будут существенно уступать динамическим моделям, инструментам автоматизации операций в организационных системах с ориентацией на персонализацию коммерческих предложений целевой аудитории [2]. В науч-

но-исследовательской работе Е.В. Загайновой отражен авторский механизм, способствующий посредством модели динамического ценообразования уменьшить число непроданных авиабилетов [1].

Концепция динамического ценообразования как компонент стратегирования товарных запасов в организационных системах подразумевает огромный набор переменных, поэтому обработать такую модель в ручном режиме не представляется возможным. В данном случае метод машинного обучения позволяет сформировать такую модель, которая может самостоятельно адаптировать и скорректировать переменные, исходя из меняющихся внешних условий. Соответственно, увеличится уровень качества операционной деятельности, её результативность без потребности в глубоком понимании осуществляемых процессов в организационных системах, направленных на получение максимального финансового результата.

По мнению А.Н. Чернякова, уровень потенциала концепции машинного обучения в управлении организационными системами достаточно высокий не только в сфере динамического ценообразования, но и во всех операциях продаж, начиная с управления товарными запасами и завершая клиентским обслуживанием полного цикла [9]. Это также обуславливает преобразующее воздействие методов машинного обучения на современное состояние и функционирование организационных систем.

Кроме методов машинного обучения, привлекательность набирает генеративная концепция, базирующаяся на технологии искусственного интеллекта. Подобные модели позволяют оптимизировать управление товарными запасами, их ценообразование, обосновать принимаемые решения в управлении организационными системами [11].

Машинное обучение представляет собой сегмент информатики и искусственного интеллекта, ориентированный на практическое применение алгоритмов, способствующих имитационному моделированию компонента управления организационными системами высокой надёжности и точности.

Шаги алгоритма методов машинного обучения следующие:

- принятие решения в ходе управления организационными системами, зачастую методы машинного обучения применяются в целях классификации объектов либо их прогнозирования. Посредством такого метода происходит аппроксимация закономерностей;
- вычисление ошибки: данная целевая функция даёт возможность оценить прогнозирование выбранного объекта. Наиболее простой вариант це-

левой функции ошибки прогноза объекта — сред-
неквадратическое отклонение;

- оптимизация концепции: для того, чтобы мини-
мизировать значение среднеквадратического от-
клонения, набор переменных меняется. Цель кор-
ректировки системы переменных — сокращение
несоответствия между оценкой прогноза и вве-
денной переменной. Это происходит при помощи
метода итераций до момента получения высокого
порога надёжности и точности [6].

Обзор методов управления товарными запасами в организационных системах

Анализ теоретических и эмпирических источников
академической литературы позволил систематизиро-
вать методы управления товарными запасами в органи-
зационных системах в разрезе факторов, которые воз-
действуют на уровень эффективности использования
этих методов в управлении (таблица 1).

Для того чтобы сформировать новый подход к управ-
лению товарными запасами в организационных систе-
мах, целесообразно учитывать следующий набор факто-
ров:

- существует потребность в автоматизированном
управлении ассортиментным наполнением рын-
ка на фоне крайне высокого темпа обновления
товарного ассортимента, быстрого устаревания
используемых концепций по причине динамич-
ности рыночных сегментов торговли, волатиль-
ности покупательского спроса, частых изменений
стоимости выбранного объекта;
- необходимость проведения сегментации целевой
аудитории посредством методов машинного об-
учения;
- наличие технологических факторов, препятству-
ющих оптимальному управлению в организаци-
онных системах: ограничения в работе цифровых
платформ, трудности интеграции баз информа-
ционных данных в технические модели, сложно-
масштабируемые технические модели автоматиза-
ции управления элементами организационных
систем.

Результаты разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов на основе моделей машинного обучения

Для формирования прогнозной модели продаж
товарных запасов применялся язык программиро-
вания — Python. Объект исследования — ритейлер ООО
ГК «Командор». Было сформировано несколько наборов
информационных данных:

- 1 товар, 1 статистический ряд данных, 1 магазин,
общее количество наблюдений — 841;

Таблица 1.

Систематизация методов управления товарными
запасами в ритейле в разрезе факторов, влияющих
на уровень эффективности их практического
применения в ритейле

Фактор	Методы в управлении организационными системами
Прогнозирование спроса в рыночной среде, оптимиза- ция объёма вы- бранного объекта	Генетический алгоритм, искусственная нейрон- ная сеть
	Интегрированная скользящая средняя и авторе- грессия, нелинейная нейронная сеть
	Регресс голосования
	Дерево регрессии и классификации
	Метод машинного обучения XGBoost
Динамическое про- граммирование	Частично наблюдаемый марковский процесс принятия решений
	Полумарковский процесс принятия решений
	Признание марковских процессов принятия решений
	Глубокое машинное обучение с подкреплением
Принятие решений в управлении организационны- ми системами в ре- альном времени	Глубокое машинное обучение с подкреплением
	Q-обучение
Управление в ус- ловиях сложных зависимостей	Мультиномиальная логистическая регрессия
	Полумарковский процесс принятия решений
Многокритерияль- ная оптимизация	Метод Мартингейла
	Метод динамического программирования
	Многокритерийный анализ решений
	Многокритерийная классификация выбран- ных объектов

Источник: составлено автором на основе [4], [7], [8], [10].

- 1 товар, 10 статистических рядов данных, 10 мага-
зинов, общее количество наблюдений — 8402;
- 2 товара, 20 статистических рядов данных, 10 ма-
газинов, общее количество наблюдений — 16749.

Тестовая выборка сформирована по периоду
28 дней — 24.03.2024 — 20.04.2024 гг. Тренировоч-
ные данные были взяты за промежуток в 813 дней —
01.01.2022 — 23.03.2024 гг.

Для прогнозирования продаж товарных запасов
применялись следующие методы: SARIMAX, Auto-ARIMA,

Prophet, экспоненциальное сглаживание Уинтерса, градиентный бустинг. Была осуществлена оценка степени точности прогнозных моделей продаж товарных запасов по первому набору информационных данных для выбора наиболее оптимальной модели машинного обучения по второму и третьему набору информационных данных (таблица 2).

Таблица 2.

Оценка степени точности прогнозных моделей по первому набору информационных данных

Прогнозная модель	RMSE	MAE	MAPE, %
SARIMAX	13,8	10,6	16,0
Auto-ARIMA	12,7	9,9	14,9
Prophet	13,9	11,4	15,9
Экспоненциальное сглаживание Уинтерса	21,3	17,2	24,0
Градиентный бустинг	13,7	10,7	16,1

Источник: составлено автором

В соответствии с результатом, приведенным в таблице 2, можно наблюдать, что максимальный уровень точности прогнозной модели имеется при использовании метода Auto-ARIMA. Этот метод способен адекватно учитывать сезонность колебаний и временные зависимости потребительского поведения в ритейле. Вместе с тем у градиентного бустинга также отмечается хорошая точность прогнозирования с учётом сезонности покупательского спроса и трендов в ритейле. Сопоставимые с градиентным бустингом были получены результаты по модели Prophet.

Минимальную точность в прогнозировании показывает модель экспоненциального сглаживания, так как

была получена достаточно высокая величина относительной ошибки. Соответственно, метод экспоненциального сглаживания менее предпочтителен в решении поставленной в научном исследовании задачи.

В отличие от остальных методов машинного обучения градиентный бустинг может применяться для обработки множественных статистических рядов. Основное преимущество градиентного бустинга — эффективная обработка сложных наборов информационных данных, огромных массивов информации, в которых могут содержаться пропуски числовых значений; наличие мощных вычислительных ресурсов для автоматизированной обработки выбросов экстремальных значений в общей выборке данных. Поэтому прогнозирование продаж товарных запасов по второму и третьему набору информационных данных осуществлялось с применением градиентного бустинга (рисунки 1, 2).

Полученный результат прогнозирования позволяет отметить следующее. Средняя ошибка прогнозирования в существенной мере отличается в разрезе магазинов, поэтому для разных компаний-ритейлеров степень точности градиентного бустинга будет разной. В частности, по второму и десятому магазину ООО ГК «Командор» обнаружены максимальные значения средней ошибки прогнозирования, следовательно, нужно провести оптимизацию метода машинного обучения с целью увеличения степени точности прогноза. Также присутствует потребность в использовании индивидуального подхода к прогнозированию выбранных объектов в разрезе торговых точек. Учитывая специфические факторы продаж для конкретного магазина, можно повысить степень точности построенной прогнозной модели, минимизировать среднюю ошибку конечного результата при применении методов машинного обучения.

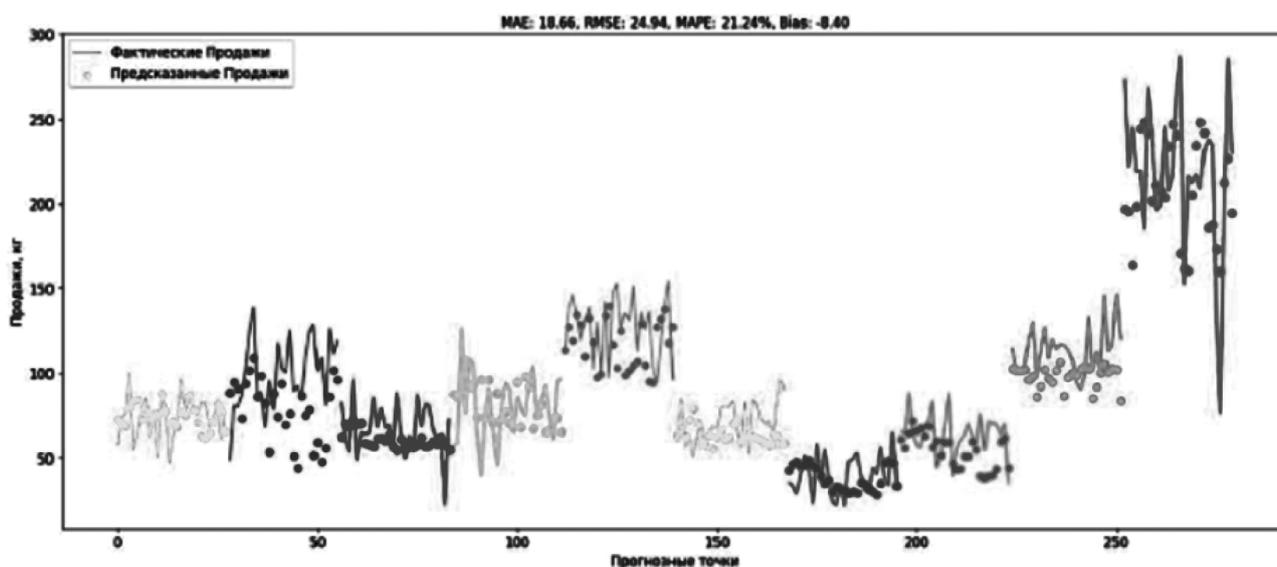


Рис. 1. Результат прогнозирования продаж товарных запасов (бананов) с применением градиентного бустинга — второй набор информационных данных (источник: составлено автором на основе [4], [7], [8], [10])

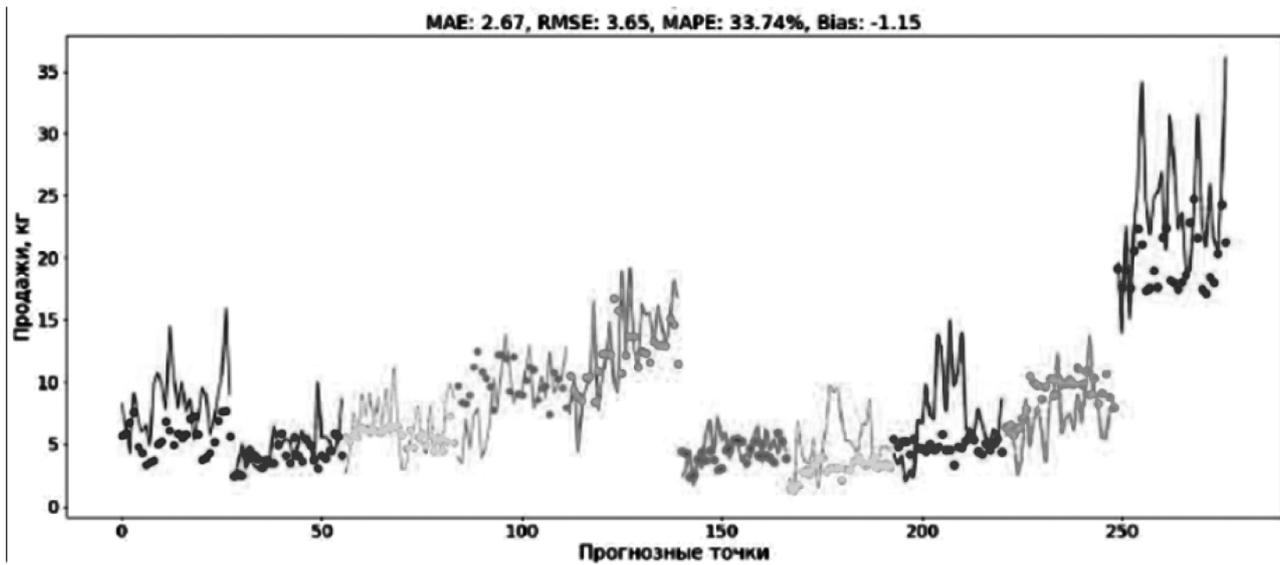


Рис. 2. Результат прогнозирования продаж товарных запасов (только лимонов — второго товара) с применением градиентного бустинга — третий набор информационных данных (источник: составлено автором на основе [4], [7], [8], [10])

Выводы

В рамках данного исследования представлена общая характеристика использования концепции машинного обучения в управлении организационными системами.

Метод машинного обучения позволяет сформировать такую модель, которая может самостоятельно адаптировать и скорректировать переменные, исходя из меняющихся внешних условий. Соответственно, увеличится уровень качества операционной деятельности, её результативность без потребности в глубоком понимании осуществляемых процессов в организационных

системах, направленных на получение максимального финансового результата.

Приведен обзор методов управления товарными запасами в организационных системах в разрезе факторов, влияющих на уровень надежности практического применения инструментов моделирования.

Отражены результаты разработки метода прогнозирования продаж товарных запасов в управлении организационными системами на основе моделей машинного обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загайнова Е.В. Модель динамического ценообразования на рынке пассажирских авиаперевозок // Журнал экономической теории. — 2017. — №. 4. — С. 176–182.
2. Кузнецов С.В. Динамическое ценообразование в электронной коммерции // Экономические исследования и разработки. — 2017. — №. 3. — С. 6–11.
3. Люкевич И.Н., Долгов А.М. Применение машинного обучения в ценообразовании инноваций // В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: матер. Всерос. науч.-практ. и учеб.-метод. конф. (СПб., 15–19 мая 2023 г.). — СПб.: Политех-Пресс, 2023. — С. 114–122.
4. Мустафин Ф.М., Харисов Р.А. Определение оптимальной конструкции защитных покрытий трубопроводов методом экспертной оценки // Трубопроводный транспорт: теория и практика. — 2009. — №. 1. — С. 42–46.
5. Передерий В.А., Рысин М.Л. Сравнительная характеристика библиотек машинного обучения для внедрения искусственного интеллекта в CRM-систему // Инженерный вестник Дона. — 2024. — №. 4 (112). — С. 14.
6. Фирюлина М.А., Каширина И.Л. Описание процесса прогнозирования проблемных состояний с применением ансамблевых методов машинного обучения // Инженерный вестник Дона. — 2022. — №. 4 (88). — С. 34–46.
7. Харисов Р.А., Исаев Ш.З., Латыпов А.М. Расчетная оценка кривых малоциклового трещиностойкости металла труб // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. — 2012. — №. 2. — С. 349–353.
8. Харисов Р.А. Оценка скорости локализованной коррозии и охрупчивания металла труб // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. — 2013. — №. 3. — С. 24–27.
9. Черняков А.Н. Обзор информационных платформ-источников наборов данных для построения моделей машинного обучения в ритейле // Инновации и инвестиции. — 2023. — №. 3. — С. 218–223.
10. Ayhan H.M., Kir S. ML-driven approaches to enhance inventory planning: Inoculant weight application in casting processes // Computers & Industrial Engineering. — 2024. — Т. 193. — Ст. 110280.
11. Kreuzberger D., Kühl N., Hirschl S. Machine learning operations (mlops): Overview, definition, and architecture // IEEE access. — 2023. — Т. 11. — С. 31866–31879.