

МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ В СФЕРЕ РОЗНИЧНЫХ ПРОДАЖ

FORECASTING MODELS AND TIME SERIES ANALYSIS ALGORITHMS FOR BUSINESS PROCESS MANAGEMENT IN RETAIL SALES

*M. Shibichenko
V. Pavlov*

Summary. Retail enterprises strive to use their resources most effectively and make informed strategic decisions in order to survive and increase their income in today's conditions of ever-increasing competition. However, as is known, forecasts are characterized by a certain degree of uncertainty, therefore, in order to obtain the most reliable and accurate data, retailers need to use methods that will minimize this uncertainty. To date, a wide range of approaches has been developed for forecasting the activities of retailers, both using traditional mathematical and static apparatus, and based on modern technologies and capabilities of intelligent data processing. In this regard, the article presents the results of a comparative analysis of forecasting models and time series analysis algorithms for managing business processes in the field of retail sales. In addition, data obtained during a comparison of the accuracy of forecasting some models using the metric of the average absolute percentage error are presented.

Keywords: retail sales, forecasting, model, data, machine learning, statistics, error.

Шибиченко Михаил Иванович
Аспирант, Московский финансово-юридический университет МФЮА
shibmish@yandex.ru

Павлов Валерий Анатольевич
кандидат экономических наук, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Testerpav@gmail.com

Аннотация. Предприятия розничной торговли стремятся наиболее эффективно использовать свои ресурсы и принимать взвешенные стратегические решения, чтобы выжить и увеличить свои доходы в современных условиях постоянно растущей конкуренции. Однако, как известно, для прогнозов характерна та или иная степень неопределенности, поэтому для получения максимально достоверных и точных данных ритейлерам необходимо использовать такие методы, которые позволят минимизировать эту неопределенность. На сегодняшний день наработан широкий спектр подходов для прогнозирования деятельности розничных продавцов, как с использованием традиционного математического и статического аппарата, так и на базе современных технологий и возможностей интеллектуальной обработки данных. В связи с этим в статье представлены результаты сравнительного анализа моделей прогнозирования и алгоритмов анализа временных рядов для управления бизнес-процессами в сфере розничных продаж. Кроме того, приведены данные, полученные в ходе сравнения точности составления прогнозов некоторых моделей с использованием метрики средней абсолютной процентной ошибки.

Ключевые слова: розничные продажи, прогнозирование, модель, данные, машинное обучение, статистика, ошибка.

Бизнес-аналитика стала популярным направлением в XXI веке. В эпоху промышленной революции 4.0, сквозной цифровизации и высокотехнологичных инноваций интуитивное принятие решений заменяется анализом и прогнозным моделированием. Информационные технологии играют ключевую роль в сокращении времени обработки данных и обеспечении точности, надежности и достоверности результатов, что чрезвычайно полезно для многоуровневых прогнозов и принятия бизнес-решений в высоко динамичных секторах экономики, таких как розничная торговля.

Сектор розничной торговли представляет собой сочетание неорганизованных и организованных предприятий. Большинство неорганизованных предприятий принимают решения умозрительно или руководствуясь

опытом владельцев, тогда как организованные предприятия розничной торговли предпочитают вырабатывать программы действий на основе результатов обработки данных/информации [5]. Бесспорным является тот факт, что в современных условиях точное прогнозирование продаж имеет решающее значение для принятия широкого спектра управленческих решений ритейлерами, таких как ценообразование, распределение торговой площади, включение/исключение товаров из ассортимента, заказы и управление запасами.

Точный прогноз — единственный способ, с помощью которого торговые предприятия могут предсказать, какие товары потребуются в каждом магазине и по каждому каналу в любой день, а это, в свою очередь, единственный способ обеспечить высокую доступность

продукции для покупателей при минимальном риске накопления избыточных запасов. Надежный прогноз, используемый во всех операциях розничной торговли, помимо этого, может помочь в контроле за мощностями, обеспечении оптимальной численности персонала в магазинах и распределительных центрах, а также облегчить менеджерам управление сложными закупками с длительными сроками поставки. Составить точный прогноз в стабильных условиях довольно просто для чего традиционно используются статистические методы, такие как, линейная регрессия.

Однако, как уже отмечалось ранее, розничная торговля по своей природе динамична, и на спрос постоянно влияют сотни факторов. В таких условиях статистические методы зачастую оказываются недостаточными при работе со сложными и быстро меняющимися данными о розничных продажах, которые включают в себя многочисленные семейства продуктов, различные сезонные модели и другие внешние факторы. Еще несколько десятилетий назад прогноз продаж мог включать в себя несколько переменных, которые отражали основные факторы, оказывающие существенное влияние на результаты работы предприятия, растет интерес к использованию в задачах прогнозирования розничных продаж передовых информационных технологий, методов интеллектуального анализа, машинного обучения для повышения точности и надежности будущих трендов. Учеными и экспертами разрабатывается множество подходов и методов в этом направлении, поэтому изучение современных инструментов, техник и моделей, сфер их использования, ограничений и требований для составления достоверных прогнозов представляет собой актуальную научно-практическую задачу, которая и предопределила выбор темы данной статьи.

В течение последних нескольких десятилетий много усилий было посвящено разработке и совершенствованию моделей прогнозирования продаж в розничной торговле. В данном направлении можно отметить наработки, как отечественных, так и зарубежных ученых, в частности, анализ различных моделей машинного обучения для прогнозирования основных показателей работы торговых предприятий, включая особенности настройки гиперпараметров [1; 9], разработка модельной системы прогнозирования продаж розничными магазинами с учетом рекламной (и другой) информации, которая основана на моделях множественной линейной регрессии и более сложных эконометрических моделях, экзогенные входные данные которых соответствуют сезонности, календарным событиям, погодным условиям, ценам и особенностям рекламных акций [6; 10], подходы к решению задач повышения точности прогнозирования при использовании как нелинейных моделей, так и линейных регрессий [3; 4; 7].

В тоже время, несмотря на значительное количество публикаций и постоянный интерес ученых к рассматриваемой проблематике, ряд вопросов требует более детального анализа. Так, по-прежнему не преодолены трудности с обеспечением эффективной обработки многомерных данных о розничных продажах, таких как, сложная сезонность и огромное количество семейств продуктов. Принимая во внимание тот факт, что на сегодняшний день существуют различные модели машинного обучения, открытым остается вопрос разработки надежного решения, которое бы интегрировало эти подходы для комплексного повышения точности прогнозирования продаж торговыми предприятиями.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении различных моделей прогнозирования и алгоритмов анализа временных рядов для управления бизнес-процессами в сфере розничных продаж.

Традиционно прогнозирование продаж начиналось с несложной формулы — часто линейной регрессионной модели — и аналитики просто подставляли ключевые переменные в эту формулу. Так до сих пор работает часть программного обеспечения для прогнозной аналитики, и это может быть в некоторой степени эффективно. В целом модели прогнозирования продаж на основе временных рядов разделяются на две категории: линейные и нелинейные модели. Среди линейных моделей методы экспоненциального сглаживания и модель авторегрессионных интегрированных скользящих средних имеют множество эффективных применений [8]. В результате они на протяжении долгого времени играют особую роль в прогнозировании продаж. Авторегрессионная дробно интегрированная скользящая средняя — это версия модели с длинной памятью. Она позволяет интегрировать ряды дробно, что дает возможность уловить длинную память рядов. Многие временные ряды демонстрируют долгосрочную зависимость, и модели авторегрессионных интегрированных скользящих средних иногда дают значительно более точные прогнозы, чем модели другого типа для различных наборов финансовых и макроэкономических данных, а также для совокупных розничных продаж.

Методы экспоненциального сглаживания используются уже более пятидесяти лет благодаря своей простоте и тому, что они не требуют сложных вычислений. Это особенно выгодно в часто встречающихся случаях, когда требуется надежный метод прогнозирования, способный в кратчайшие сроки формализовать будущий тренд по многим переменным. Методы экспоненциального сглаживания заключаются в отдельном определении форм, принимаемых двумя компонентами данных: трендом и сезонностью. Учитывая различные структуры тренда и сезонности, можно определить несколько компонентов тренда и сезонности, что дает возможность

создать несколько комбинаций, каждая из которых представляет собой отдельный метод экспоненциального сглаживания [10].

Учитывая значительное количество вариаций линейных и нелинейных моделей в таблице 1 представлена их краткая сравнительная характеристика.

Хотя модели регрессии и временных рядов являются мощными, они часто требуют определенных предположений о связях и закономерностях данных, что не всегда возможно осуществить. В данном контексте исследователи отмечают, что более точное и достоверное прогнозирование в сфере розничных продаж начинается с определения переменных, а затем выбора алгоритма интеллектуального анализа данных или комбинации алгоритмов, наиболее подходящих для конкретного запроса и задачи [5]. Фактически, применяя машинное обучение и искусственный интеллект к своим наборам данных, ритейлеры могут эффективно пропускать имеющиеся у них сведения через несколько уровней прогнозных моделей, чтобы учесть все важные факторы и отсеять ненужные.

Алгоритмы машинного обучения и глубокого обучения могут обрабатывать гораздо более сложные данные с меньшим количеством допущений. Они хорошо подходят для ситуаций, когда на модели продаж влияют многие взаимосвязанные факторы. Такие модели наиболее ценны для крупных торговых организаций с большим объемом данных и сложной динамикой продаж. Эти модели могут улавливать тонкие закономерности и взаимодействия, которые не очевидны для других методов и подходов, что дает преимущество предприятиям, работающим в высококонкурентных отраслях.

На рис. 1 систематизированы основные преимущества технологий искусственного интеллекта для прогнозирования временных рядов в сфере розничных продаж.

Значительное количество существующих исследований в области управления бизнес-процессами в сфере розничных продаж сосредоточены на разработке и обосновании универсального метода прогнозирования, который можно применить ко всем исследуемым продуктам, в рамках любого предприятия и отраслевого сегмента [2]. Однако, согласно теореме Вольперта–Макреди о невозможности универсального оптимизатора,

Таблица 1.

Сравнительная характеристика алгоритмов анализа временных рядов в сфере розничной торговли
(составлено автором)

Алгоритм / метод	Тип модели	Математическая основа	Сильные стороны	Ограничения применения	Область использования
Модель структурных временных рядов	Статистическая, компонентная	Декомпозиция на тренд, сезонность и шум	Высокая интерпретируемость, применима к нерегулярным данным	Требует априорного выбора компонент, менее точна на сложных рядах	Анализ тенденций выручки, сезонных циклов
Коэффициентный метод Холта–Уинтерса	Аддитивная/Мультиплексивная	Экспоненциальное сглаживание	Удобна для реализации в ERP-системах, учитывает сезонность	Плохо адаптируется к резким внешним изменениям в спросе	Прогнозирование товарооборота в условиях регулярных колебаний
Гармонический анализ	Спектральный	Разложение по частотным компонентам	Выявляет скрытые циклы и периодичности, высокое разрешение	Неустойчив к выбросам и шуму, требует сглаживания	Детектирование скрытых сезонных колебаний спроса
Модели состояния Калмана	Стochasticеская	Оценка скрытых переменных и шумов	Высокая устойчивость к пропускам, адаптивность к изменениям	Сложность реализации, требует точной настройки матриц	Онлайн-прогнозирование продаж в системах автоматического пополнения
Динамическая регрессионная модель	Статистическая	Множественная регрессия с лагами	Учитывает внешние факторы, динамику и временные связи	Требует подробной инженерии признаков и регуляризации	Оценка влияния внешних событий на продажи
Байесовские временные ряды	Вероятностная, итеративная	Байесовская оценка параметров	Учитывает неопределённость, строит интервальные прогнозы	Трудоёмкость в вычислениях, требует экспертизы в статистике	Стратегическое планирование и оценка рисков
Модель с ограниченной памятью	Эвристическая	Адаптивное усечение истории	Подходит для высокочастотных данных с обрывами	Меньшая точность при долгосрочном прогнозе	Прогнозрафика и краткосрочных продаж в электронной коммерции

Структура спроса

Сезонность, тенденции, колебания спроса в зависимости от дня недели

Бизнес-решения

Промоакции и изменения цен, изменения ассортимента, изменения в выкладке и размещении товаров

Внешние факторы

Праздники, посещаемость, погода, местные события, действия конкурентов

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**Точные прогнозы для всего розничного планирования**

Сверхдетальные прогнозы по каждому продукту, дню и магазину или каналу реализации

Горизонт прогнозирования от следующего дня до следующего года

Рис. 1. Возможности ИИ для прогнозирования временных рядов в сфере розничных продаж (составлено автором)

нет гарантии того, что какой-либо метод, каким бы сложным он ни был, будет работать лучше для одного набора серий, чем другой метод. Это означает весьма низкую вероятность того, что один метод будет доминировать над другими для всех продуктов и всех будущих периодов времени. Данные об относительной эффективности того или иного подхода являются специфически-

ми, поскольку розничные продажи имеют уникальные характеристики, которые не соответствуют массовым исследованиям «конкуренции». Это подчеркивает важность выбора метода, соответствующего характеристикам конкретной задачи управления бизнес-процессами в сфере розничных продаж.

Таблица 2.

Сравнительная характеристика моделей прогнозирования для управления бизнес-процессами в сфере розничных продаж (составлено автором)

Модель прогнозирования	Тип модели	Основные данные	Преимущества	Ограничения	Применение в ритейле
Линейная регрессия	Статистическая	Исторические продажи, цена, налоговые ставки	Простота, интерпретируемость	Не учитывает сезонность и нелинейные тренды	Прогноз продаж на основе ценовых изменений
Экспоненциальное сглаживание (ETS)	Временные ряды	Временные ряды продаж	Учитывает тренды и сезонность	Не всегда точно при резких колебаниях спроса	Краткосрочные прогнозы по товарным категориям
ARIMA / SARIMA	Временные ряды	Продажи, сезонность, лаги	Гибкость, сезонные и трендовые компоненты	Сложность настройки, требует стационарности	Сезонные прогнозы спроса на товары
Решающие деревья / Random Forest	Машинное обучение	Продажи, акции, погода, события	Обнаруживает нелинейные связи, хорошо работает с шумами	Сложности с интерпретацией результатов, требуется много данных	Оценка влияния промо-кампаний
XGBoost / CatBoost	Градиентный бустинг	Многофакторные данные	Высокая точность, устойчивость к переобучению	Сложная настройка, требуется инженерия признаков	Модели прогнозирования ассортимента и выручки
LSTM (нейросеть)	Глубокое обучение	Последовательности продаж по времени	Учитывает долгосрочную память, тренды, циклы	Требует большого объема данных и времени на обучение	Долгосрочный прогноз по товарам или магазинам
Имитационное моделирование	Стochasticеская модель	Логистика, поведение покупателей	Учет случайностей, гибкость в сценариях	Не даёт точного прогноза, а только диапазон результатов	Планирование персонала, запасов, доставки

Другой способ получения более точных прогнозов — использование комбинированных методов, основанных на использовании более одной модели для выявления будущих тенденций и трендов. В то время как отдельный метод может представлять свой собственный уникальный механизм построения прогнозов, комбинированные методы позволяют объединять возможности различных подходов и инструментов. Кроме того, благодаря этому преодолеваются недостатки каждой отдельной модели.

Обобщая результаты проведенного выше анализа, в таблице 2 представлена сравнительная характеристика различных моделей прогнозирования в розничной торговле.

Также в контексте проводимого исследования отдельного внимания, по мнению автора, заслуживает не только анализ возможностей, но и анализ точности моделей прогнозирования и алгоритмов анализа временных рядов (см. рис. 2).

На рис. 2 показано сравнение различных моделей прогнозирования по метрике MAPE. С использованием указанных моделей составлялся прогноз недельных продаж определённой товарной категории в модельной сети магазинов. Полученные результаты позволяют сделать такие выводы:

1. Линейная регрессия имеет наибольшую погрешность (~18,2 %). Ее достоинством является простота использования, однако результаты неточные, особенно при нелинейных зависимостях, в условиях большой цикличности, в случае появления нерегулярных событий и влияния неопределённости.

2. ETS и SARIMA — более точны, хорошо подходят для сезонных данных.
3. Random Forest и XGBoost показывают высокую точность при наличии множества факторов.
4. LSTM — самая точная модель, особенно эффективна при длинных временных рядах.

Подводя итоги проведенного исследования, можно сделать следующие выводы.

В современных рыночных условиях, когда конкуренция растет с каждым днем, а срок службы продукции сокращается, компаниям необходимо быть быстрыми, гибкими и маневренными, чтобы выдержать высокую конкуренцию. В данном контексте прогнозирование продаж на уровне продукта в розничной торговле имеет важное значение для рационального планирования бизнеса, повышения эффективности обслуживания, наращивания прибыльности и укрепления рыночных позиций. С этой целью на сегодняшний день разработан широкий спектр методов и подходов, каждый из которых имеет свои отличительные характеристики, необходимую для моделирования информационную базу, сферы применения и ограничения.

В статье представлены результаты сравнительного анализа моделей прогнозирования и алгоритмов анализа временных рядов для управления бизнеса — процессами в сфере розничных продаж. Кроме того, приведены результаты сравнения точности составления прогнозов некоторых моделей с использованием метрики средней абсолютной процентной ошибки.

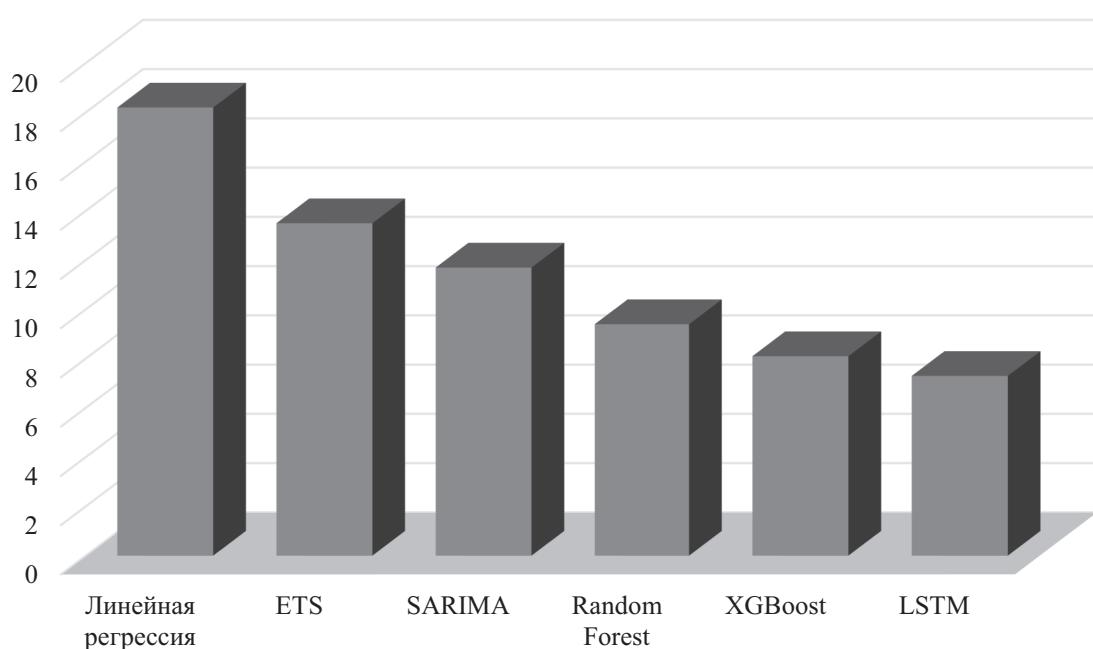


Рис. 2. Сравнение моделей прогнозирования по метрике MAPE, % (составлено автором)

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневский В.М., Леохин Ю.Л., Фатхулин Т.Д., Занегин А.В. Методы машинного обучения в решении задачи прогнозирования спроса на отдельные виды товаров // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18. № 10. С. 34–43.
2. Гончар А.А. Использование предиктивной аналитики для повышения эффективности бизнеса // Актуальные исследования. 2023. № 50-4 (180). С. 22–46.
3. Иванов М.Ю., Сыготина М.В., Надршин В.В., Дербенёва А.В. Технологии интеллектуального анализа данных в решении экономических задач // Baikal Research Journal. 2022. Т. 13. № 2. С. 39–44.
4. Перстенева Н.П., Гоголев А.О. Обзор текущего состояния использования технологий искусственного интеллекта российскими различными компаниями для задач прогнозирования // Экономика и предпринимательство. 2022. № 8 (145). С. 864–866.
5. Рассохин В.Р., Черкасова Ю.И. Сравнительная оценка моделей прогнозирования продаж в розничной торговле // Торговля, сервис, индустрия питания. 2024. Т. 4. № 3. С. 227–240.
6. Чувкин П.А., Климов Д.С. Прогнозирование объема продаж с применением адаптивных моделей // Сборник научных трудов вузов России «Проблемы экономики, финансов и управления производством». 2025. № 56. С. 226–229.
7. Lei Da., Hu H., Geng D., Zhang J. New product life cycle curve modeling and forecasting with product attributes and promotion: A Bayesian functional approach // Production and Operations Management. 2022. Vol. 32 (2). P. 107–113.
8. Lind G., Ramesh K. Using internet search data to predict aggregate retail sales and enhance firm-level revenue expectations // Contemporary Accounting Research. 2025. Vol. 56. P. 19–25.
9. Skenderi G., Joppi Ch., Denitto M., Cristani M. Well googled is half done: Multimodal forecasting of new fashion product sales with image-based google trends // Journal of Forecasting. 2024. Vol. 43 (6). P. 45–51.
10. Sweeney K., Evers Ph. T., Duan Y., Windle R. Trade-offs between operational performance and sales in a retail environment: The simultaneous impact of product variety on inventory levels, product availability, and sales // Journal of Business Logistics. 2023. Vol. 44 (3). P. 70–75.

© Шибиченко Михаил Иванович (shibmish@yandex.ru); Павлов Валерий Анатольевич (Testerpav@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»