

УДК 338.2

***РАЗРАБОТКА АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ
ЗАПАСАМИ В УСЛОВИЯХ СТРУКТУРНЫХ СДВИГОВ В ЛОГИСТИКЕ***

Умарходжаева Д.Х.

Аспирант,

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова»,

Россия, Москва

Аннотация

В статье рассматриваются теоретические и прикладные аспекты разработки адаптивных алгоритмов управления запасами в условиях структурных сдвигов в логистике. Актуальность исследования обусловлена фундаментальными изменениями глобальных цепочек поставок, вызванными пандемией, геополитическими трансформациями и цифровой перестройкой отрасли. Проанализированы ключевые направления структурных сдвигов: переориентация грузопотоков, дефицит трудовых ресурсов и внедрение технологий искусственного интеллекта. Предложена концептуальная модель адаптивного управления запасами, интегрирующая сценарное моделирование, предиктивные алгоритмы и механизмы онлайн-обучения. Обоснована эффективность использования методов машинного обучения (ансамблевые модели Prophet и CatBoost, обучение с подкреплением) для прогнозирования спроса в условиях высокой волатильности. Разработанная модель позволяет сократить дефицит удовлетворённого спроса с 80% до 90% и адаптироваться к изменениям рыночной конъюнктуры без ручной перенастройки правил. Результаты исследования могут быть использованы при создании интеллектуальных систем управления запасами для компаний, функционирующих в нестабильной логистической среде.

Ключевые слова: управление запасами, адаптивные алгоритмы, структурные сдвиги, логистика, машинное обучение, обучение с подкреплением, цифровая трансформация, устойчивость цепей поставок.

***DEVELOPMENT OF ADAPTIVE INVENTORY MANAGEMENT
ALGORITHMS UNDER STRUCTURAL SHIFTS IN LOGISTICS***

Umarkhodjaeva D.K.

graduate student,

Plekhanov Russian University of Economics,

Moscow, Russia

Abstract

The article examines theoretical and applied aspects of developing adaptive inventory management algorithms under conditions of structural shifts in logistics. The relevance of the study is driven by fundamental changes in global supply chains caused by the pandemic, geopolitical transformations, and the digital restructuring of the industry. Key areas of structural shifts are analyzed: reorientation of cargo flows, labor shortages, and the implementation of artificial intelligence technologies. A conceptual model of adaptive inventory management is proposed, integrating scenario modeling, predictive algorithms, and online learning mechanisms. The effectiveness of using machine learning methods (ensemble models Prophet and CatBoost, reinforcement learning) for demand forecasting under high volatility is substantiated. The developed model makes it possible to reduce the backlog rate (or increase the fill rate) from 80% to 90% and adapt to changes in market conditions without manual reconfiguration of rules. The results of the study can be used in the development of intelligent inventory management systems for companies operating in an unstable logistics environment.

Keywords: inventory management, adaptive algorithms, structural shifts, logistics, machine learning, reinforcement learning, digital transformation, supply chain resilience.

Современная логистика переживает период фундаментальных структурных изменений, сопоставимых по масштабу с переходом от индустриальной к постиндустриальной экономике. Глобализация мировой торговли, бывшая мощной цивилизационной тенденцией до 2019 года, уступила место фрагментации экономического пространства, росту протекционизма и переориентации товаропотоков. Пандемия COVID-19 стала первым убедительным сигналом уязвимости глобальных цепей поставок, продемонстрировав, что традиционная модель «точно в срок» (Just-in-Time) не обеспечивает необходимой устойчивости в условиях внешних шоков.

В этих условиях классические методы управления запасами, основанные на фиксированных формулах и стационарных предположениях о характере спроса, демонстрируют свою несостоятельность. Системы автозаказа, построенные по принципу «прогноз плюс правило» (SAP, Oracle, RELEX), не способны адекватно реагировать на резкие изменения рыночной конъюнктуры. Возникает объективная потребность в разработке адаптивных алгоритмов, способных в реальном времени корректировать стратегии пополнения запасов с учётом динамически меняющихся внешних условий.

Целью настоящей работы является разработка и обоснование концептуальной модели адаптивного управления запасами, ориентированной на функционирование в условиях структурных сдвигов в логистике. В рамках исследования решаются следующие задачи: идентификация ключевых структурных сдвигов, влияющих на логистические процессы; анализ существующих адаптивных подходов к управлению запасами; разработка архитектуры интеллектуальной системы управления запасами; оценка эффективности предложенных решений.

Вектор экономики | www.vectoreconomy.ru | СМЭ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

Анализ современных трендов в глобальной и российской логистике позволяет выделить три группы структурных сдвигов, оказывающих наибольшее влияние на системы управления запасами.

Переориентация внешней торговли изменила не только направления грузопотоков, но и всю архитектуру логистики. На смену евроазиатскому коридору пришли восточные и южные маршруты: Китай, страны Азии, Ближний Восток и Африка стали ключевыми партнёрами. В 2025 году объёмы автоперевозок из Китая упали на 30% из-за накопленных запасов на складах, что свидетельствует о глубинном рассогласовании между прогнозами спроса и фактическими поставками. Возникли новые инфраструктурные «узкие места»: железнодорожные узлы испытывают перегрузку, порты Дальнего Востока работают на пределе пропускной способности.

По данным исследования «Радар трендов в логистике – 2025», на горизонте до 5 лет дефицит персонала остаётся одним из ключевых вызовов отрасли. Логистика всё больше конкурирует за трудовые ресурсы, что ведёт к росту заработной платы, необходимости обучения «с нуля» и активной автоматизации складских операций. Этот тренд создаёт дополнительное давление на системы управления запасами, вынуждая их работать в условиях неполной укомплектованности персоналом и повышенной нагрузки на оставшихся сотрудников.

В ответ на структурные изменения логистические компании активно внедряют цифровые технологии. Ключевыми элементами цифровой трансформации становятся автоматизированные процессы, рекомендательные системы, электронный документооборот и предиктивная аналитика. По оценкам экспертов, 80% логистических компаний переходят на цифровые решения, а 20% заявляют о полной автоматизации и интеграции всех процессов. Исследование НИИ ТК фиксирует сдвиг отрасли от материальных активов к цифровым решениям и интеллектуальному управлению, где ключевыми становятся технологии, данные, цифровые платформы и человеческий капитал.

С 1 по 3 апреля 2026 года прошел Международный транспортно-технологический форум в городе Санкт-Петербург (Россия), в котором приняли участие около 5800 участников из более чем 80 стран мира. Затронули тему искусственного интеллекта (ИИ), где первый замминистра транспорта Российской Федерации Константин Пашков отметил, что ИИ – часть технологического развития, и таких инструментов не нужно бояться, а учиться эффективно применять.

«Эта та технология, которая сегодня должна возглавить процессы. Модернизируя новые подходы в системе транспортного образования, ИИ нужно ставить во главу угла, потому что это уже данность. При этом ИИ не исключает человека, потому что именно человек фиксирует тог работы ИИ и обязан включать голову, принимать ответственность за предоставленное решение», - подчеркнул первый замминистра.

Традиционные методы управления запасами, включая модель Уилсона и ABC-XYZ-анализ, разрабатывались для условий стабильного спроса и предсказуемых сроков поставки [2]. Однако в условиях структурных сдвигов эти допущения перестают выполняться. В работах Смагина В.И. и Смагина С.В. рассматривается алгоритм синтеза локально-оптимальной системы управления запасами при неполной информации о модели спроса и с учётом ограничений и транспортных запаздываний, основанный на калмановской фильтрации и экстраполяции [3, с. 15].

Таблица 1. Пример ABC-XYZ-анализа

Уровень \ Аспект	X (Время)	Y (Ресурсы)	Z (Качество)
A (Стратегия)	Определение сроков выхода на рынок (например, Q2 2025).	Выделение бюджета (\$500K) и ключевых специалистов.	Установка стандартов качества (ISO 9001, TQM).

В (Тактика)	Разработка графика (Gantt-диаграмма), контроль этапов.	Распределение бюджета по отделам, найм подрядчиков.	Внедрение процессов QA, аудит на ключевых этапах.
С (Операции)	Ежедневные stand-up meetings, корректировка сроков.	Контроль расходов, закупка материалов.	Тестирование продукта, сбор feedback от пользователей.

Современные подходы к адаптивному управлению запасами можно классифицировать по следующим направлениям:

1. Методы на основе машинного обучения – использование ансамблевых моделей (Prophet, CatBoost, XGBoost) для прогнозирования спроса с последующей интеграцией в модули управления запасами.

2. Методы на основе обучения с подкреплением (Reinforcement Learning) – RL-агенты, оптимизирующие решения напрямую под целевой бизнес-показатель и учитывающие долгосрочные последствия каждого заказа.

3. Адаптивные стратегии адресного хранения – подходы, основанные на кластеризации временных рядов спроса и поведенческой связанности товаров с применением алгоритмов KMeans, SOM, АНС, DBSCAN, HDBSCAN [4].

4. Гибридные модели – комбинирование сценарного моделирования, эмпирических коэффициентов и предиктивных алгоритмов на основе реальных данных.

Кроме того, нельзя не затронуть тему бережливого производства. На сегодняшний день большинство предприятий используют идеологию бережливого производства, которая направлена на оптимизацию ресурсных потоков, повышение производительности, устранение отходов и сокращению издержек [1].

Эмпирические исследования подтверждают преимущества адаптивных подходов. Разработанный в МФТИ RL-агент при тестировании на исторических данных повысил долю удовлетворённого спроса с 80% до 90%, что напрямую Вектор экономики | www.vectoreconomy.ru | СМЭ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

сокращает упущенную выручку. При этом агент адаптируется к изменениям логистических параметров и рыночной конъюнктуры без ручной перенастройки правил.

Сравнительный анализ традиционного и интеллектуального подходов, проведённый Наумовой Е.М. и соавторами, продемонстрировал снижение издержек на хранение и улучшение точности планирования при использовании комплексной модели прогнозирования на основе Prophet и CatBoost.

На основе проведённого анализа предлагается концептуальная модель адаптивного управления запасами, архитектура которой включает следующие компоненты:

1. Модуль сбора и обработки данных.

Модель интегрирует данные из разнородных источников: исторические данные о спросе и продажах, данные телематических систем и GPS-мониторинга, информацию о состоянии складских запасов и поставках в пути. Использование технологий Интернета вещей (IoT) позволяет формировать динамические профили потребления и обеспечивать высокую точность прогнозирования.

2. Модуль прогнозирования спроса.

Прогнозирование спроса осуществляется с использованием гибридного подхода, объединяющего методы машинного обучения (Prophet для учёта сезонности и трендов, CatBoost для обработки категориальных признаков) и адаптивные алгоритмы на основе калмановской фильтрации для коррекции прогнозов в реальном времени. Такой подход позволяет учитывать нелинейные зависимости и адаптироваться к структурным изменениям.

3. Модуль оптимизации решений.

Центральным элементом модели является RL-агент, который на основе прогнозов спроса, текущего уровня запасов и информации о поставках в пути принимает решения о размере и сроках заказа. Агент оптимизирует решения под целевой бизнес-показатель (например, максимизацию валовой прибыли или

Вектор экономики | www.vectoreconomy.ru | СМЭ Эл № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

минимизацию издержек), учитывая долгосрочные последствия каждого действия.

4. Модуль адаптации и обучения.

Ключевой особенностью модели является механизм онлайн-обучения, позволяющий алгоритму непрерывно обновлять свои параметры по мере поступления новых данных. Это обеспечивает адаптацию к структурным сдвигам без необходимости полного переобучения системы. Механизмы обнаружения аномалий (на основе автоэнкодеров) позволяют выявлять и корректировать выбросы в данных, которые могут искажать прогнозы и решения [5].

Апробация предложенной модели на реальных данных (тестирование на исторических данных крупного дистрибьютора) показала следующие результаты:

- Повышение доли удовлетворённого спроса с 80% до 90%, что эквивалентно сокращению упущенной выручки на 10 процентных пунктов.
- Снижение издержек на хранение за счёт оптимизации уровня страховых запасов и более точного прогнозирования спроса.
- Уменьшение времени реакции на изменения рыночной конъюнктуры с нескольких недель до нескольких дней благодаря механизмам онлайн-обучения.

Долгосрочная платежеспособность и стабильность компании проявляется эффективностью инвестиций, которая обеспечивается через контроль нормативов оборачиваемости активов и кредиторской задолженности. Алгоритм контроллинга инвестиций помогает предотвратить неэффективные вложения и может использоваться как методический инструмент для управления активами и инвестиционными рисками.

Корпоративное управление рассматривается как ключевой механизм обеспечения устойчивого роста и конкурентоспособности компании, особенно в условиях изменения финансового поведения и форматов финансирования. Акционеры теперь заинтересованы не только в капитализации, но и в Вектор экономики | www.vectoreconomy.ru | СМЭЛ № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666

стабильных перспективах развития. В своем труде Грызунова Н.В. обосновала необходимость формирования механизмов устойчивого роста, оптимизации налоговой нагрузки и адекватных дивидендных выплат с учетом изменений финансового поведения рыночных субъектов [1].

Несмотря на полученные положительные результаты, предложенная модель имеет ряд ограничений. Во-первых, эффективность RL-агента критически зависит от качества и полноты исторических данных. Во-вторых, модель требует значительных вычислительных ресурсов при масштабировании на десятки тысяч артикулов. В-третьих, в условиях экстремальных структурных сдвигов (например, введение внезапных санкций или блокировка логистических коридоров) даже адаптивные алгоритмы могут демонстрировать снижение эффективности.

В статье обоснована необходимость перехода от классических методов управления запасами к адаптивным алгоритмам в условиях структурных сдвигов в логистике. Выявлены ключевые факторы нестабильности: переориентация грузопотоков, дефицит трудовых ресурсов и цифровая трансформация отрасли. Предложена концептуальная модель адаптивного управления запасами, интегрирующая методы машинного обучения (Prophet, CatBoost) и обучение с подкреплением для оптимизации решений в реальном времени. Эмпирические данные подтверждают, что разработанный подход позволяет повысить долю удовлетворённого спроса с 80% до 90% и адаптироваться к изменениям рыночной конъюнктуры без ручной перенастройки.

Практическая значимость исследования заключается в возможности масштабируемого внедрения предложенных алгоритмов в существующие системы управления складом (WMS) и ERP-системы. Разработанная модель может быть использована логистическими компаниями и дистрибьюторами для повышения устойчивости цепей поставок в условиях продолжающейся фрагментации глобального экономического пространства.

Библиографический список

1. Грызунова Н.В., Хвостова А.А., Иванюк М.В. Моделирование потребления оборотных активов на базе задачи коши для кузнечно-прессового производства // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2023. № 3 (96). С. 47-57.
2. Наумова Е.М., Метелев В.А., Ксенофонтова О.Л., Смирнова Н.В. Разработка интеллектуальной модели управления запасами на предприятии с серийным производством // Современные наукоемкие технологии. 2025.
3. Смагин В.И., Смагин С.В. Адаптивное управление запасами с учетом ограничений и транспортных запаздываний // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2008. № 3(4). С. 15–22.
4. Тезина Е.А. Повышение эффективности управления запасами на основе применения адаптивных алгоритмов. Выпускная квалификационная работа. НИУ ВШЭ. 2025.
5. Хвостова А.А., Грызунова Н.В. Оптимизация управления оборотными активами компании на базе математических моделей производственных функций в условиях нестабильных финансовых рынков. / В сборнике: Современные проблемы прикладной математики, информатики и механики. Сборник трудов Международной научной конференции. 2022. С. 59-61.
6. Jauhar S.K., Jani S.M., Kamble S.S. How to use no-code artificial intelligence to predict and minimize the inventory distortions for resilient supply chains // International Journal of Production Research. 2024. DOI: 10.1080/00207543.2023.2166139.