

УДК 658.7

***ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ
ЗАПАСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ***

Забродский В.С.¹

студент

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
Калуга, Россия*

Аннотация: В статье рассматриваются экономико-математические модели управления запасами применительно к промышленному предприятию, выпускающему мотоблоки, мотокультиваторы и навесное оборудование для садовой техники. Обоснована ограниченность детерминированных моделей в условиях случайных колебаний спроса. Проанализированы вероятностные модели с фиксированным объёмом заказа и уровнем перезаказа, учитывающие страховые запасы. Предложен подход к моделированию сезонного спроса через сезонные коэффициенты, а также многопродуктовая постановка задачи для взаимосвязанных позиций. Рассмотрены адаптивные методы, включая многокритериальную оптимизацию и алгоритмы машинного обучения

Ключевые слова: управление запасами, экономико-математическое моделирование, неопределенность спроса, стохастические модели, сезонность, многокритериальная оптимизация.

***ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF STOCK MANAGEMENT
IN AN ENTERPRISE IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY***

Zabrodsky V.S.

Student

¹ *Научный руководитель: Птускин А.С., д.э.н., профессор КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, Россия*

Scientific Supervisor: A.S. Ptuskin, Doctor of Economics, Professor at the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Kaluga, Russia

BMSTU (National Research University) Kaluga Branch
Kaluga, Russia

Annotation: The article discusses economic and mathematical models of inventory management in relation to an industrial enterprise that produces walk-behind tractors, motor cultivators, and attachments for garden equipment. The limitations of deterministic models in the face of random demand fluctuations are substantiated. Probabilistic models with a fixed order quantity and reorder level that take into account safety stocks are analyzed. An approach to modeling seasonal demand using seasonal coefficients is proposed, as well as a multi-product formulation for interrelated items. Adaptive methods, including multi-criteria optimization and machine learning algorithms, are considered.

Keywords: inventory management, economic and mathematical modeling, demand uncertainty, stochastic models, seasonality, and multi-criteria optimization.

Управление запасами - это комплексная задача, направленная на обеспечение бесперебойного функционирования производственно-сбытовой системы при минимальных издержках [6].

В деятельности любого промышленного предприятия, выпускающего широкий ассортимент продукции, управление товарно-материальными запасами является одной из ключевых логистических задач. От того, насколько точно и своевременно пополняются складские запасы, зависят и бесперебойность производственного процесса, и удовлетворённость конечных потребителей, и в конечном счёте - экономическая эффективность всей компании. Особую актуальность проблема приобретает в условиях неопределённости рыночного спроса, когда объёмы реализации продукции невозможно предсказать с абсолютной точностью.

Традиционные детерминированные модели управления запасами исходят из предпосылки о полной определённости всех параметров - интенсивности

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

спроса, сроков поставки, издержек хранения. Однако на практике спрос на большинство видов продукции подвержен случайным колебаниям, что делает необходимым применение стохастических и адаптивных подходов к управлению запасами.

В данной статье рассматриваются экономико-математические модели управления запасами применительно к промышленному предприятию, выпускающему широкую номенклатуру садовой техники – мотоблоки, мотокультиваторы и многочисленное навесное оборудование.

Фундаментом современной теории управления запасами является модель экономического размера заказа, разработанная Фордом Харрисом в 1913 году, но получившая широкое распространение благодаря работам Р.Х. Уилсона. Модель EOQ определяет оптимальный размер заказа, минимизирующий совокупные затраты на хранение и заказ товара.

Формула Уилсона имеет следующий вид:

$$Q_w = \sqrt{\frac{2Kv}{S}}, \quad (1)$$

где: Q_w - оптимальный размер заказа;

K – затраты на доставку товара;

v – скорость потребления запаса;

S – затраты на хранение.

Модель Уилсона не учитывает товары в пути, горизонты планирования, затраты на дефицит и оптовые скидки. Модель предполагает постоянный спрос в течение года, мгновенное пополнение запасов, фиксированную стоимость заказа независимо от его размера и пропорциональные затраты на хранение.

Отсутствие учёта неопределённости приводит к двум типам рисков:

1. риск дефицита – если фактический спрос превысит ожидаемый, возникает дефицит, влекущий потерю прибыли и ущерб репутации;

2. риск затоваривания – при заниженном спросе излишки продукции увеличивают издержки хранения и могут привести к моральному устареванию запасов.

В условиях реального рынка спрос на мотоблоки и мотокультиваторы, а также на навесное оборудование к ним подвержен значительным колебаниям, вызванным сезонностью, изменением потребительских предпочтений, уровнем доходов населения и действиями конкурентов. В отличие от детерминированных моделей, где спрос рассматривается как фиксированная и заранее известная величина, вероятностные модели учитывают случайный характер спроса, используя аппарат теории вероятностей и математической статистики. Любой реальный процесс можно привести к детерминированному виду [5]. Однако при прогнозировании данный тип моделей дает неточные результаты [5].

Вероятностные модели управления запасами строятся на предположении, что спрос является случайной величиной с известным или оцениваемым законом распределения. Наиболее часто в практике используется нормальное распределение, однако в ряде случаев могут применяться и другие законы распределения. Ключевым отличием стохастических моделей от детерминированных является введение в рассмотрение понятия страхового запаса, предназначенного для компенсации случайных отклонений спроса от прогнозируемого уровня.

Классической моделью управления запасами в условиях вероятностного спроса является модель с фиксированным объёмом заказа и фиксированным уровнем запаса Q, r . В рамках данной модели решение о размещении заказа принимается в момент, когда текущий уровень запаса снижается до критического уровня r – точки перезаказа. Оптимальные параметры Q и r определяются из условия минимизации ожидаемых совокупных затрат, включающих издержки хранения, издержки на размещение заказа и ожидаемые потери от дефицита.

Специфика управления запасами на предприятиях, выпускающих мотоблоки, мотокультиваторы и косилки, определяется выраженной

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

сезонностью спроса. Пик продаж приходится на весенне-летний период, когда потребители активно приобретают технику для обработки земельных участков, в то время как в осенне-зимний период спрос существенно снижается. Данное обстоятельство делает необходимым адаптацию моделей управления запасами к учёту сезонных колебаний.

Для моделирования спроса с учётом сезонности используется модель, в которой спрос в период t представляется как произведение базового уровня спроса на сезонный коэффициент:

$$d_t = d_0 \cdot k_t + \varepsilon_t, \quad (2)$$

где: d_0 - базовый уровень спроса;

k_t - сезонный коэффициент для периода t ;

ε_t - случайная компонента.

Данный подход позволяет разделить детерминированную сезонную компоненту и случайные колебания спроса, что повышает точность прогнозирования и обоснованность решений об уровне страховых запасов. При этом для периодов пикового спроса целесообразно увеличивать страховой запас, тогда как в периоды спада - минимизировать уровень запасов во избежание затоваривания.

В ассортименте рассматриваемого предприятия присутствуют как самостоятельные единицы техники, так и дополнительное навесное оборудование, что создаёт дополнительную сложность при управлении запасами, поскольку спрос на основную технику и навесное оборудование взаимосвязан.

В многопродуктовых системах управления запасами выделяют два основных подхода:

- независимое управление запасами по каждой номенклатурной позиции;
- совместное управление, учитывающее взаимосвязи спроса между товарами.

Учёт взаимосвязей особенно важен, поскольку приобретение мотоблока часто сопровождается покупкой навесного оборудования к нему.

Математическая постановка многопродуктовой задачи представлена следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \left(C_{hi} \cdot \bar{I}_i + C_{oi} \cdot \frac{D_i}{Q_i} + C_{bi} \cdot \bar{B}_i \right) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где C_{hi} - издержки хранения единицы продукции i ;

\bar{I}_i - средний уровень запаса;

C_{oi} - издержки на размещение заказа;

D_i - годовой спрос;

Q_i - размер заказа;

C_{bi} - издержки дефицита;

\bar{B}_i - средний уровень дефицита.

Альтернативой классическим стохастическим моделям выступают адаптивные подходы, которые позволяют корректировать параметры системы управления запасами по мере получения новой информации о динамике спроса.

В работе Гусева, Свиридовой, Шидловского и Бродецкого представлен подход к оптимизации задач управления запасами с учётом неопределённостей спроса и возможных задержек поставок [7]. Особенностью разработанных моделей является учёт различных неопределённостей и концепции временной ценности денег, при этом соответствующие решения отличаются многокритериальностью.

В рамках многокритериального подхода к управлению запасами выделяются следующие критерии оптимальности:

- минимизация совокупных затрат на управление запасами;
- минимизация риска дефицита;
- максимизация уровня обслуживания потребителей;
- минимизация среднего времени хранения запасов.

Учёт нескольких критериев позволяет сбалансировать противоречивые цели и принять решение, в наибольшей степени соответствующее приоритетам предприятия.

Современным направлением развития адаптивного управления запасами является использование методов машинного обучения и интеллектуального анализа данных. В работе Наумовой, Метелева, Ксенофонтовой и Смирновой разработана комплексная модель прогнозирования спроса и управления запасами на предприятии с серийным производством, реализованная на языке Python с использованием алгоритмов Prophet и CatBoost [3]. Проведён сравнительный анализ эффективности традиционного и интеллектуального подходов, продемонстрировавший снижение издержек на хранение и улучшение точности планирования.

Важным этапом внедрения экономико-математических моделей управления запасами является анализ чувствительности получаемых решений к изменениям исходных параметров. Для моделей, учитывающих неопределённость, особую значимость приобретает оценка влияния погрешностей в оценке параметров распределения спроса на оптимальные значения размера заказа и уровня страхового запаса.

Исследования показывают, что сильная переоценка или недооценка ожидаемого уровня запасов, обусловленная выбором неподходящего подхода к аппроксимации, приводит к сильному искажению в определении политики оптимального заказа [2]. Поэтому при выборе модели управления запасами необходимо учитывать не только её теоретическую обоснованность, но и устойчивость по отношению к ошибкам в исходных данных.

Практическая значимость анализа чувствительности для рассматриваемого предприятия заключается в возможности:

- определения критических параметров, оказывающих наибольшее влияние на эффективность системы управления запасами;

- обоснования допустимых границ отклонений фактического спроса от прогнозируемого;
- разработки рекомендаций по корректировке страховых запасов при изменении рыночной конъюнктуры.

На основе проведённого анализа сформулированы следующие рекомендации по выбору стратегии управления запасами для предприятия, выпускающего мотоблоки, мотокультиваторы и косилки. Для основной продукции с достаточно стабильным, но сезонным спросом целесообразно использование модели с фиксированным интервалом времени между заказами, что позволяет унифицировать логистические процессы и снизить транзакционные издержки. Для продукции с высокой волатильностью спроса рекомендуется применение вероятностной модели с автоматическим пересчётом страхового запаса по мере накопления статистических данных. В периоды сезонного пика целесообразно временное увеличение страхового запаса для наиболее востребованных позиций, что позволяет снизить риск дефицита и связанные с ним потери.

Таким образом, управление запасами в условиях неопределённости спроса представляет собой сложную многокритериальную задачу, для решения которой необходим комплексный подход, сочетающий методы теории вероятностей, математической статистики, многокритериальной оптимизации и адаптивного управления.

Сравнительный анализ детерминированных, стохастических и адаптивных моделей показывает, что выбор конкретной модели должен осуществляться с учётом специфики продукции, характера спроса, доступной информационной базы и стратегических приоритетов предприятия. Для продукции с выраженной сезонностью и наличием взаимосвязей между отдельными номенклатурными позициями наиболее эффективным является использование вероятностных моделей с элементами адаптации.

Библиографический список:

1. Борель Д.О. Стохастические модели управления запасами на предприятии // Развитие логистики и управления цепями поставок: материалы V Международной научно-практической молодёжной конференции. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 572-576.

2. Колесникова М.А. Хорошее приближение уровня запасов в (Q, r) системе управления скоропортящимися запасами [Электронный ресурс] // ДонНТУ, 2006. – URL: <https://masters.donntu.ru/2006/fvti/kolesnikova/library/art02.htm> (дата обращения: 05.04.2026).

3. Наумова Е.М., Метелев В.А., Ксенофонтова О.Л., Смирнова Н.В. Разработка интеллектуальной модели управления запасами на предприятии с серийным производством // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. – 2025. – Т. 82, № 2. – С. 71-82. – URL: <https://snt-isuct.ru/article/view/6642>. (дата обращения: 05.04.2026).

4. Скирюк О.С. Модели формирования оптимальной производственной программы с учетом стратегий управления запасами и полной неопределенности среды предприятия // Научное обозрение: экономика и управление. – № 4. – С. 77. – URL: <http://library.volnc.ru/article/view?id=138865> (дата обращения: 06.04.2026).

5. Черкашина Т.Б. Стохастическая модель управления запасами товаров с сезонным спросом [Электронный ресурс] // 3-я международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – ДонНТУ, 2007. – URL: <https://masters.donntu.ru/2007/fvti/cherkashina/library/art3.htm> (дата обращения: 07.04.2026).

6. Шибиченко М.И., Павлов В.А. Методика оценки устойчивости моделей временных рядов, применяемых для управления запасами // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 9. – URL: <http://ivdon.ru/en/magazine/archive/n9y2025/10361> (дата обращения: 07.04.2026).

7. Шидловский И.Г., Гусев Д.А., Свиридова О.А., Бродецкий Г.Л. Многокритериальная оптимизация управления запасами в условиях неопределенности при формализации исходных данных на основе стандартизованного подхода // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2026. – № 1. – С. 13-28.