

Научная статья
УДК 656.073
doi: 10.17586/2713-1874-2025-2-64-72

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОВАРНЫХ ЗАПАСОВ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Любовь Николаевна Иванова¹, Сергей Евгеньевич Иванов²✉

¹Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия, 45is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6880-0897>

²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия, serg_ie@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-2366-9458>
Язык статьи – русский

Аннотация: В статье рассматриваются ключевые задачи и методы по оптимизации и управлению запасами в логистической системе для минимизации общих затрат на хранение товаров на складе, а также оптимизации затрат на размещение заказов с учетом объема заказа относительно спроса. Цель работы – разработать математическую модель для задачи нелинейного программирования для минимизации затрат с учетом нелинейных функций спроса и затрат на хранение, а также ограничений по запасам и количеству заказов. Авторами сформулирована нелинейная задача оптимизации товарных запасов как задача нелинейного программирования, для решения которой был применен генетический алгоритм. Для практического применения разработаны программы на языке Python. Разработанный инструментариум позволяет находить решения для сложных нелинейных задач оптимизации товарных запасов, что даст возможность компании снизить общие операционные расходы, увеличить товарооборот, улучшить клиентский сервис, минимизировать избыточные товарные запасы, оптимизировать ресурсы и повысить финансовые показатели компании.

Ключевые слова: генетический алгоритм, нелинейное программирование, оптимизация запасов, управление запасами

Ссылка для цитирования: Иванова Л. Н., Иванов С. Е. Оптимизация товарных запасов в логистической системе с применением методов нелинейного программирования // Экономика. Право. Инновации. 2025. Т. 13. № 2. С. 64–72. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-2-64-72>.

OPTIMIZATION OF INVENTORY IN A LOGISTICS SYSTEM USING NONLINEAR PROGRAMMING METHODS

Lubov N. Ivanova¹, Sergei E. Ivanov²✉

¹St. Petersburg State Marine Technical University (SMTU), 45is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6880-0897>

²ITMO University, Saint Petersburg, Russia, serg_ie@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-2366-9458>
Article in Russian

Abstract: The article discusses key tasks and methods for optimizing and managing inventory in a logistics system to minimize the total cost of storing goods in a warehouse, as well as optimizing the cost of placing orders based on order volume relative to demand. The aim of the work is to develop a mathematical model for a nonlinear programming problem to minimize costs, taking into account the nonlinear functions of demand and storage costs, as well as inventory and order quantity constraints. The authors formulated a nonlinear inventory optimization problem as a nonlinear programming problem, for which a genetic algorithm was applied. Python programs have been developed for practical use. The developed toolkit makes it possible to find solutions for complex nonlinear inventory optimization problems, which enables the company to reduce overall operating costs, increase turnover, improve customer service, minimize excess inventory, optimize resources, and improve the company's financial performance.

Keywords: genetic algorithm, inventory management, inventory optimization, nonlinear programming

For citation: Ivanova L. N., Ivanov S. E. Optimization of Inventory in a Logistics System Using Nonlinear Programming Methods. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2025. Vol. 13. No. 2. pp. 64–72. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2025-2-64-72>.

Введение. Оптимизация уровня запасов, обеспечение наличия товаров, снижение затрат, минимизация расходов на хранение, повышение уровня обслуживания относятся к главным целям и задачам при оптимизации и управлении запасами и способствуют оперативной реакции на изменения потребительского спроса. Современные методы с применением компьютерных средств и технического инструментария для анализа данных способствуют достижению эффективных результатов в логистике и успешному решению задач по управлению запасами. В конечном итоге, такой подход последовательно приводит к сокращению затрат и отражает повышение уровня обслуживания клиентов.

Следует отметить, что для большинства прикладных задач оптимизации и управления запасами функции спроса и предложения показаны и отражены в нелинейной форме. Объясняется такая ситуация тем, что в случаях применения линейных моделей не учитываются сложные нелинейные зависимости для спроса и предложения. Кроме того, такие упрощенные модели несут существенные погрешности и не соответствуют сложным рыночным ситуациям. Для объективного отражения положения вещей, с целью минимизации затрат на хранение, применяются более точные нелинейные модели и нелинейное программирование, направленное на оптимизацию уровней запасов.

В работе решается задача оптимизации и управления товарными запасами с целью минимизации общих затрат на хранение товаров на складе, а также оптимизации затрат на размещение заказов с учетом объема заказа относительно спроса. При этом учитываются ограничения по запасам.

Затраты на хранение товаров на складе зависят от объема товара, который подлежит заказу, и от переменных затрат на хранение единицы товара за период. Затраты на размещение заказов, учитывающие объем заказа относительно спроса, прямо пропорциональны ожидаемому спросу на товар за определенный период времени, зависят от фиксированных затрат на размещение одного заказа. Также затраты на размещение заказов пропорциональны количеству товара, которое необходимо заказать.

Итоговая функция для оптимизации затрат на хранение и заказ должна включать как затраты на хранение товаров на складе, так и затраты на размещение заказов с учетом объема заказа относительно спроса.

Таким образом, необходимо определить оптимальный объем заказа, который минимизирует общие затраты с учетом ограничений по запасам и количеству заказов. Учитывая нелинейную форму целевой функции для минимизации затрат, необходимо сформулировать математическую модель для задачи нелинейного программирования.

Решение поставленной оптимизационной задачи позволит компании снизить общие операционные расходы, увеличить товарооборот, улучшить клиентский сервис, минимизировать избыточные запасы товаров, лучше адаптироваться к рыночным изменениям, повысить эффективность цепочки поставок, оптимизировать использование ресурсов компании и улучшить финансовые показатели компании.

Методы оптимизации товарных запасов. Рассмотрим некоторые примеры использования методов оптимизации процессов и управления запасами для уменьшения затрат, повышения уровня потребительского спроса и обслуживания.

Для определения оптимального объема ресурсов, возможности минимизации общих затрат, снижения издержек на закупку и хранение товаров с фиксированными расходами (постоянным спросом) предпочтительно применить метод экономичного заказа. Вышеуказанный метод включает учет времени доставки, прогнозируемый потребительский спрос и установление точки повторного заказа, что отражает наилучший уровень запасов и позволяет избежать дефицита ресурсов.

При необходимости сосредоточить внимание на классификации ресурсов по категориям в зависимости от максимальной значимости и прибыльности в приоритете будет метод ABC-анализа, позволяющий оценить критичный уровень запасов [1]. В дальнейшем можно сконцентрировать усилия на оптимизации управления менее важными категориями товаров.

С целью снижения расходов на хранение, минимизации запасов и получении товаров точно в срок в производственных

процессах целесообразно применить метод Just-in-Time [4].

Системы управления ресурсами обеспечивают отслеживание движения товаров, оптимизацию хранения и управление заказами за счет повсеместного внедрения автоматизации процессов управления запасами, в частности, на складе.

С помощью методов прогнозирования спроса возможно предсказать будущий спрос на товары, более точно планировать закупки, оптимизировать процесс управления запасами на основе статистического анализа и машинного обучения.

В решении вопроса предотвращения дефицита и улучшения уровня обслуживания клиентов может помочь метод безопасного запаса, который определяет дополнительный запас ресурсов для защиты от колебаний спроса или задержек поставок.

Метод кросс-докинг упрощает процесс логистики и снижает затраты на хранение, поскольку в этом случае товары не поступают на склад, сразу отправляясь к клиентам без длительного хранения [2].

Для управления производственными запасами и планирования закупок на основе производственного плана целесообразно применять системы планирования потребностей в материалах.

В зависимости от категории товаров и состояния рыночной среды вышеуказанные методы возможно комбинировать для достижения оптимального баланса между затратами и уровнем обслуживания.

Цели и задачи исследования. Оптимизация запасов включает множество задач, направленных на снижение затрат и обеспечение бесперебойного обслуживания клиентов. Приведем ключевые задачи оптимизации и управления запасами. Целью определения оптимального уровня запасов товаров является нахождение верхнего и нижнего предела. Целью прогнозирования спроса является предсказание будущего спроса на основе исторических данных и тенденций. Для более точного прогнозирования применяются методы машинного обучения, статистические методы, временные ряды, регрессионный анализ. Целью управления закупками является оптимизация процесса закупок для снижения затрат и минимизации недостатка запаса.

Выполняется анализ поставщиков, выбор стратегий закупок. Для этого выполняется организация пространства на складе, внедрение технологий автоматизации и управление потоками товаров. Целью контроля за движением запасов является обеспечение точности учета и минимизация потерь. Для этого применяются системы отслеживания, регулярные инвентаризации и аудиты.

Рассмотрим задачу оптимизации и управления товарными запасами, цель которой – минимизировать общие затраты на хранение и заказ товаров, учитывая спрос, ограничения по запасам и другие факторы.

Введем параметры задачи: D – спрос за период; O_c – затраты на заказ; H_c – затраты на хранение товара за период; O_q – количество товара, которое необходимо заказать.

Введем переменные задачи: O_q – количество товара. Количество заказа: $O_q \geq 0$.

Целевая функция задачи для минимизации общих затрат имеет вид:

$$\text{Minimize } Z = 0.5 H_c \cdot O_q + O_c \cdot D / O_q \quad (1)$$

Таким образом, задача оптимизации и управления запасами представлена как задача нелинейного программирования с целью минимизации затрат с учетом нелинейных функций спроса и затрат на хранение, а также ограничений по запасам и количеству заказов.

Литературный обзор. В последнее время опубликовано большое число научных статей, посвященных различным методам и задачам оптимизации и управления товарными запасами.

В научных работах [3–5] авторами рассматриваются численные методы машинного обучения для моделирования и оптимизации товарных запасов в логистической системе. В отличие от данной работы решаются линейные задачи оптимизации. В статье [3] проводится сравнительный анализ в сфере генетических алгоритмов и тестируется работа методов NSGAIII и AGE-MOEA-II. Несмотря на то, что акцент был сделан на теоретические изыскания и возможности алгоритмов отражены не полностью, можно говорить о важном аспекте применения NSGA-III и AGE-MOEA-II в инженерии и других приоритетных отраслях. В статье [4] рассматриваются вопросы использования численных методов

оптимизации для решения задач повышения результативности работы систем управления запасами продукции. Большое внимание авторами уделено необходимости оптимизации процессов функционирования логистических систем и экономической целесообразности применения математических методов. В статье [5] выполнен обзор технологий программного и имитационного моделирования. Авторами рассматриваются направления развития цифрового моделирования для систем управления запасами с точки зрения непрерывности производства, обеспечения оптимизации процессов и повышения конкурентоспособности предприятия. Изучается проблематика формирования достаточного количества материальных ресурсов, снижения издержек при производстве и поставках, формирования стабильности деятельности предприятия в условиях неопределенности и изменчивости рынка.

В исследованиях [1, 6] применяются методы искусственного интеллекта для решения задачи управления запасами. Следует отметить, что в отличие от генетического алгоритма применение нейронных сетей требует существенно больших вычислительных ресурсов и является более трудоемкой задачей. Статья [1] посвящена различным аспектам в практической области управления запасами в соответствии с принятыми стандартами в выбранной предметной отрасли. Исследованы популярные и наиболее распространённые модели управления запасами. Кроме того, изучается возможность подключить нейросетевое моделирование к выполнению задач кластеризации и предиктивной аналитики. В работе [6] изучаются аспекты применения систем, основанных на использовании искусственного интеллекта, через призму оптимизации и автоматизации управления запасами в современных организациях. Авторами отмечается более точный анализ данных и эффективное решение поставленных задач искусственным интеллектом, что обеспечивает высокую конкурентоспособность.

В работах [2, 7, 8] рассматриваются современные научные методологии для управления запасами. Однако в этих работах не представлены инструментальные средства для практического применения предлагаемых методов. В статье [2] проводится

сравнительный анализ методологии управления запасами по следующим аспектам: максимизация, оптимизация и минимизация. Авторами предлагается научный подход для формирования оптимального уровня запасов при сокращении затрат на хранение. Статья [7] посвящена современным методам регулирования и оптимизации систем управления запасами, в частности, складами промышленных предприятий. Авторы рассматривают успешность применения систем автоматической идентификации (штрих-коды, RFID и QR-коды), возможность внедрения складских роботов, использования предиктивной аналитики данных, облачных вычислительных технологий, интернет вещей IoT и систем управления цепями поставок. В работе [8] рассматривается вопрос управления запасами предприятия с точки зрения получения прибыли и эффективной деятельности и достижения финансовой экономической устойчивости. Авторы предлагают универсальный алгоритм решения проблем процесса управления запасами.

В научных работах [9, 10] рассматриваются задачи оптимизации управления запасами в условиях неопределенности. В следствии учета условий неопределенности полученные решения могут содержать неточности и существенные погрешности. В работе [9] разработана модель оптимального выбора стратегии управления запасами для различных уровней надежности с разными поставщиками. Авторы делают акцент на решение сложной задачи управления запасами в условиях неопределенности спроса при возникновении ситуации ненадежности поставщиков. Статья содержит сравнительный анализ существующих методов и моделей управления запасами, в том числе детерминированные и стохастические подходы. В работе [10] рассматриваются узкоспециализированные проблемы деятельности предприятия в условиях кризиса и неопределенности. Изучаются общеизвестные подходы в управлении и оптимизации материальными ресурсами. Автор исследует влияние экономических кризисов и предлагает рекомендации по управлению товарно-материальными запасами в условиях экономической нестабильности.

В работах [11, 12] рассматриваются задачи оптимизации и управления запасами в

прикладных областях. Решаемые задачи носят узкий прикладной характер для определенного сектора экономики. В работе [11] рассмотрены наиболее широко распространенные методы оптимизации запасов логистической деятельности предприятия ТЭК. Отдельное внимание обращено на нормативно-правовой аспект, на юридическое и правовое регулирование, показатели материалоотдачи и материалоемкости. Авторы сформулировали рекомендации для системы управления запасами ПАО «Газпром». В работе [12] исследуется направление динамики развития оптимизации системы управления запасами. Авторы рассматривают модификации моделей процесса для оптимальной партии поставки для скоропортящегося запаса с возможностью оптимизации.

В большинстве приведенных работах рассмотрены упрощенные модели, не учитывающие важные нелинейные зависимости и являющиеся приближенными.

Многие авторы и исследовательские группы занимались задачами оптимизации и управления запасами в логистике с использованием генетических алгоритмов. В работе [13] генетический алгоритм применяется для нахождения логических закономерностей при решении задачи оптимизации складских запасов. В исследовании [14] используется генетический алгоритм для решения проблем управления запасами, возникающих при поиске рационального плана раскроя. В работе [15] генетический алгоритм применяется при планировании перевозок для оптимизации процессов в отдельных звеньях поставок. Но в отличие от данной работы, в вышеперечисленных работах генетический алгоритм применяется в задачах линейного программирования, что существенно сужает область применения метода.

Генетический алгоритм для оптимизации товарных запасов. Для решения задач нелинейного программирования широко применяется генетический алгоритм. Генетический алгоритм – это метод оптимизации, основанный на механизмах естественного отбора и генетики.

Следует отметить, что генетический алгоритм – функционально неполная система и не обеспечивает оптимальное решение для всех возможных задач оптимизации. В неко-

торых задачах алгоритм может находить хорошие решения, но не гарантирует нахождение глобального оптимума.

Для рассматриваемой задачи оптимизации и управления запасами выбор генетического алгоритма обосновывается несколькими преимуществами, например, отсутствием строгих требований к форме целевой функции и ограничениям. По сравнению с методами градиентного спуска, генетический алгоритм избегает застревания в локальных минимумах. Кроме того, алгоритм хорошо адаптируется для работы с дискретными переменными в задачах оптимизации и управления запасами, например, с количеством единиц товара для заказа. Также алгоритм позволяет сразу учитывать несколько критериев, например, минимизацию затрат и максимизацию уровня обслуживания клиентов. Результаты, полученные с помощью алгоритма, легко интерпретируются и могут быть визуализированы.

Применение генетического алгоритма к оптимизации и управлению запасами в логистике обосновывается рядом важных факторов. Для задачи по управлению запасами необходимо учитывать множество изменяющихся во времени факторов, что не позволяет применять традиционные методы оптимизации. Кроме того, в отличие от традиционных методов, генетический алгоритм позволяет использовать большие пространства решений, находить глобальный оптимум, решать задачи с неопределенными и вариативными данными. Для оптимизации и управления запасами генетический алгоритм позволяет определить оптимальный уровень запасов для товаров с учетом спроса, сроков поставки и затрат на хранение. Для планирования закупок генетический алгоритм помогает разработать стратегию закупок для оптимизации затрат. Практическое применение генетического алгоритма для оптимизации запасов сокращает затраты и улучшает операционные показатели.

Алгоритм использован для решения задач нелинейного программирования, задачи оптимизации. Приведем основные этапы генетического алгоритма для решения поставленной нелинейной задачи.

1 этап. Инициализация популяции.

Создается начальная популяция возмож-

ных решений. Каждое решение представляет собой хромосому, которая кодирует параметры управления запасами, количество заказа Q и уровень запасов I .

2 этап. Оценка приспособленности.

Для каждого решения в популяции вычисляется функция приспособленности, которая отражает качество решения. В нашем случае это функция затрат Z

Чем меньше значение Z , тем выше приспособленность решения.

3 этап. Селекция.

Выбираются решения для создания нового поколения. Используются метод селекции – рулетка: вероятность выбора индивида пропорциональна его приспособленности.

4 этап. Скрещивание (кроссовер).

Выбранные родители комбинируются для создания потомства. Используется двухточечный кроссовер, чтобы обменять части хромосом между двумя родителями.

5 этап. Мутация.

Чтобы поддерживать генетическое разнообразие и избежать локальных минимумов, применяется мутация. Выполняется изменение одного параметра хромосомы, случайное изменение количества заказа Q .

6 этап. Создание нового поколения.

Новые решения объединяются с лучшими из родителей, чтобы сформировать новое поколение.

7 этап. Проверка условия остановки.

Процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто условие остановки, изменения в лучших решениях становятся незначительными.

8 этап. Вывод результата.

После завершения алгоритма выбирается лучшее решение из последнего поколения, который представляет оптимальное решение задачи управления запасами.

Для задачи оптимизации хромосомы представляют параметры управления запасами, количество заказа. Функция приспособленности рассчитывает общие затраты на основе количества заказа. Для инициализации популяции создается начальная популяция случайных значений количества заказа. Для селекции используется вероятностный выбор родителей на основе их приспособленности.

Для поставленной задачи нелинейного программирования разработаны программы

на языке Python, реализующие генетический алгоритм для решения нелинейных задач оптимизации и управления запасами, что позволяет проводить более точный и детальный анализ.

Рассмотрим пример расчета с помощью генетического алгоритма задачи оптимизации и управления запасами для минимизации затрат на хранение и заказы. Для программной реализации алгоритма применен Python с использованием библиотеки `numpy` для математических расчетов.

Приведем шаги генетического алгоритма, реализованного на Python.

Вначале необходимо определить параметры задачи. Определим максимальное количество поколений $Mg=100$, размер популяции $Mr=50$, вероятность мутации $Mr=0.1$ и кроссовера $Cr=0.7$.

Далее, определим затраты на управление запасами. Функция приспособленности для представленного примера имеет вид: $Fitness(Oq) = Hct(Oq) + Oct(Oq)$, где средний уровень запасов $Hct(Oq) = Hc * (Oq / 2)$ и количество заказов в год $Oct(Oq) = Oc * (D / Oq)$, стоимость хранения за единицу $Hc = 0.5$, стоимость заказа $Oc = 100$, годовой спрос $D = 200$.

Вначале выполняем инициализацию популяции. Для создания начальной популяции применена функция `random.randint(1, 100, size)` генерации случайных значений.

Для оператора селекции используется турнирный метод для выбора родителей. В турнирном методе вначале выбирают участников турнира из текущей популяции случайным образом. Далее выполняется сравнение на основе значений функции приспособленности и отбор наиболее подходящих родителей. Процесс повторяется несколько раз, чтобы отобрать необходимое количество родителей для создания нового поколения.

Для оператора кроссовера определена функция, которая, в зависимости от коэффициента Cr , возвращает среднее значение для двух родителей или значение первого родителя.

Для оператора мутации определена функция, которая, в зависимости от коэффициента вероятности мутации Mr , сдвигает решение влево или вправо на заданное значение.

В основном цикле алгоритма, пока не будет достигнуто условие достижения максимального числа поколений, происходит эволюция популяции. Выполняется селекция, кроссовер и мутация. При этом запоминается лучшее значение приспособленности. Алгоритм продолжается до достижения максимального числа поколений Mg или, если

улучшения приспособленности нет, в течение нескольких поколений.

На рисунке 1 представлены результаты для примера: график изменения затрат на товарные запасы (приспособленность) за итерацию (поколение). По оси Ox – итерации (поколение), по оси Oy – затраты на товарные запасы.

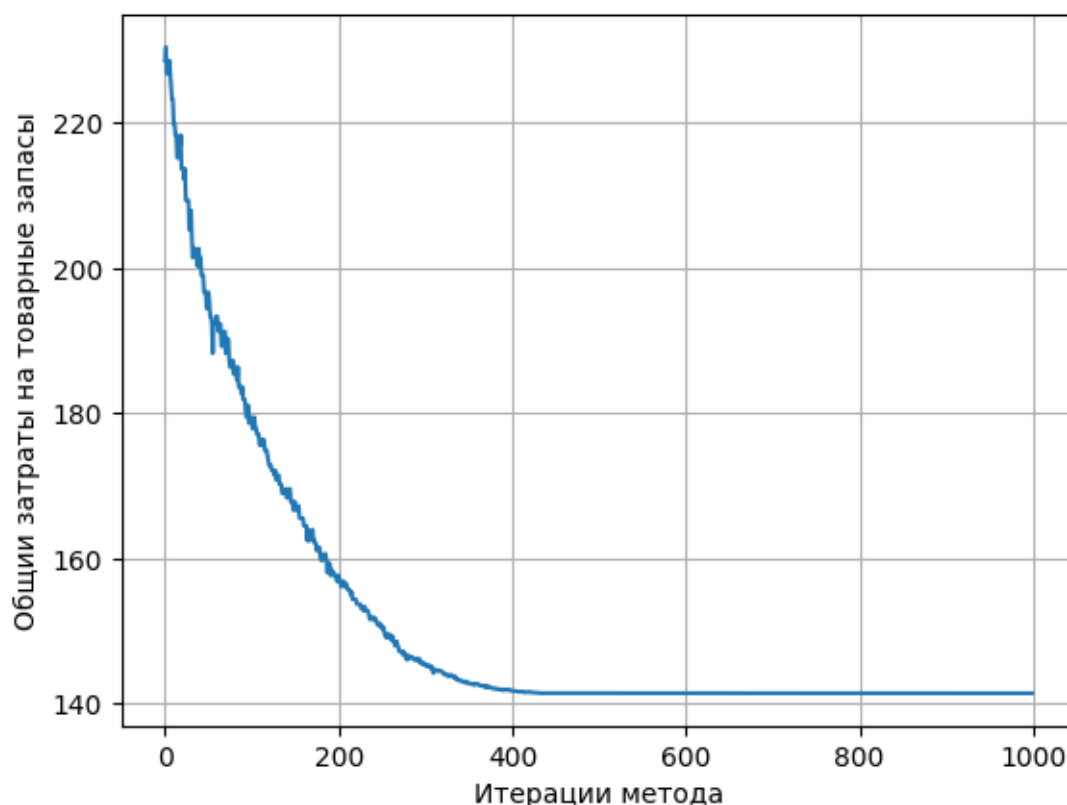


Рисунок 1 – Изменения затрат на товарные запасы (приспособленность) за итерацию (поколение)

Источник: составлено авторами на основе расчетов

Рисунок 1 позволяет сделать вывод о сходимости генетического алгоритма и визуально оценить, насколько быстро и стабильно улучшалось решение. График изменения лучшей приспособленности за поколения показывает быстрое снижение значений целевой функции, что свидетельствует о хорошей сходимости алгоритма. При значении поколения, равном 455, алгоритм получил стабильное решение, которое не улучшалось при последующих итерациях.

В результате мы получили следующие значения: лучшее значение целевой функции (минимальные затраты) – 141,42, лучшее количество заказа – 283.

Для оценки качества модели получены статистические показатели: среднее значение

целевой функции: 149,82; стандартное отклонение: 16,81.

Для решённой экономической задачи мы получили следующие оптимальные значения: объем заказа 283, затраты на хранения 70,75 и затраты на размещения заказа 70,67. Общие затраты включают затраты на хранение товаров на складе и затраты на размещение заказов, с учетом объема заказа относительно спроса. В результате определен оптимальный объем заказа, равный 283, который минимизирует общие затраты, равные 141,42 с учетом ограничений по запасам и количеству заказов. Используя генетический алгоритм, можно эффективно находить решения для сложных нелинейных задач оптимизации и управления товарными запасами, обеспе-

чивая гибкость и возможность поиска глобального оптимума.

Экономические перспективы применения генетического алгоритма для оптимизации и управления запасами в логистике заключаются в существенном повышении эффективности бизнес-процессов, снижении операционных затрат, улучшении клиентского сервиса компании.

Выводы. В логистике задача оптимизации и управления запасами является основной, влияет на эффективность, стоимость и уровень обслуживания клиентов. В работе сформулирована нелинейная задача оптимизации и управления запасами как задача нелинейного программирования с целью минимизации затрат, с учетом нелинейных функций спроса, затрат на хранение, а также ограничений по запасам и количеству заказов. Применяется генетический алгоритм для решения практической задачи нелинейного программирования. Для практического применения разработаны программы на языке Python, реализующие генетический алгоритм для решения нелинейных задач оптимизации и управления запасами. Используя разработанный инструментарий, реализующий генетический

алгоритм, можно эффективно находить решения для сложных задач нелинейного программирования, обеспечивая возможность поиска глобального оптимума.

Практический опыт показывает, что возможно существенно повысить уровень обслуживания клиентов, а, значит, и конкурентоспособность за счет уменьшения затрат и улучшения процесса управления ресурсами с помощью генетического алгоритма.

В конечном итоге, применение генетического алгоритма при планировании закупок позволяет более точно определить объемы заказов и, соответственно, уменьшить затраты на приобретение товаров, сократить сроки поставок.

Следует отметить, что при необходимости быстро адаптироваться в изменяющихся условиях спроса и рыночной ситуации, использование генетического алгоритма повышает конкурентоспособность организации

Кроме того, оптимизация уровней запасов позволит уменьшить затраты на хранение избыточных ресурсов и обеспечить наличие необходимых товаров в нужное время, что приводит к увеличению прибыли и рентабельности бизнеса.

Список источников

1. Кагаев А. Д. Управление запасами в современных организациях // Экономика и социум. 2024. № 5–1 (120). С. 1957–1960.
2. Егоров В. И. Сравнение отечественных и зарубежных методик в области управления запасами // Время науки. 2024. № 2. С. 16–19.
3. Вихтенко Э. М., Зубков Д. В. Исследование алгоритмов NSGA-III и AGE-MOEA-II для решения задач многокритериальной оптимизации // Инженерный вестник Дона. 2024. № 6 (114) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2024/9259>
4. Чеботарев С. С., Хайтбаев В. А., Бутченко В. В. Численные методы оптимизации логистических систем в процессе управления запасами // Научные проблемы водного транспорта. 2024. №. 80. – С. 207–220.
5. Адаев Р. Б., Севостьянов П. А. Управление запасами с помощью компьютерных моделей // Научные исследования 2024: актуальные теории и концепции: сборник материалов XLIX-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, в 3 т., том 2, 8 мая, 2024 – Москва: Издательство НИЦ «Империya», 2024. – 177 с.

References

1. Kagaev A. D. Inventory Management in Modern Organizations. *Economika i socium*. 2024. No. 5–1 (120). pp. 1957–1960. (In Russ.).
2. Egorov V. I. Comparison of Domestic and Foreign Methods in the Field of Inventory Management. *Vremya nauki*. 2024. No. 2. pp. 16–19. (In Russ.).
3. Vikhtenko E. M., Zubkov D. V. Study of NSGA-III and AGE-MOEA-II Algorithms for Solving Multicriteria Optimization Problems. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2024. No. 6 (114). Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2024/9259> (In Russ.).
4. Chebotarev S. S., Khaitbaev V. A., Butchenko V. V. Numerical Methods for Optimizing Logistics Systems in the Inventory Management Process. *Nauchnyye problemy vodnogo transporta*. 2024. No. 80. pp. 207–220. (In Russ.).
5. Adaev R. B., Sevostyanov P. A. Inventory Management Using Computer Models. *Scientific research 2024: current theories and concepts: collection of materials of the XLIX international in-person and correspondence scientific and practical conference, in 3 volumes, volume 2, May 8, 2024*. Moscow: Publishing House of the Research Center «Imperia». 2024. 177 p. (In Russ.).

6. Адаев Р. Б., Севостьянов П. А. Цифровые методы принятия решений в задачах управления запасами материальных ресурсов производства // Научный аспект. 2024. № 7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://na-journal.ru/7-2024-informacionnye-tehnologii/14269-cifrovye-metody-prinyatiya-reshenii-v-zadachah-upravleniya-zapasami-materialnyh-resursov-proizvodstva> (In Russ.).
7. Свиридова В. В. Инновационные подходы в оптимизации систем управления складами и запасами промышленного предприятия // Экономика и социум. 2024. № 5–1 (120). С. 1613–1617.
8. Ионов К. Е. Актуальные проблемы управления запасами // Вестник науки. 2022. № 4 (49). С. 52–59.
9. Леонтьев А. С. Задача управления запасами в условиях неопределённости. Модель оптимального выбора стратегии управления запасами при случайном спросе и ненадёжных поставщиках // Актуальные исследования. 2024. №. 15 (197). С. 51–57.
10. Николаев В. В. Повышение эффективности управления запасами в кризисных условиях // Экономический вектор. 2022. № 2 (29). С. 38–42.
11. Копылов Д. Г. Совершенствование логистического управления запасами на предприятии ТЭК // Вестник науки. 2024. № 7 (76). Т. 2. С. 53–58.
12. Ипатьева И. А., Ельяшевич И. П. Модели и методы управления запасами скоропортящихся сырья и материалов: Обзор публикаций с 2016 по 2021 г. // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2022. № 3. С. 177–231.
13. Доронин В. А. Применение генетического алгоритма для оптимизации складских запасов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2006. № 9. С. 117–123.
14. Гвоздинский А. Н., Малышкин В. А., Тищенко И. В. Применение методов эволюционной оптимизации в задачах управления запасами // Автоматизированные системы управления и приборы автоматизации. 2011. № 157. С. 102–106.
15. Прохоренко О. В. Использование эволюционных методов при планировании перевозки в цепях поставок // Наука, образование, кадры. 2016. С. 23–28.
6. Adaev R. B., Sevostyanov P. A. Digital Methods of Decision-Making in Problems of Managing Inventories of Production Material Resources. *Nauchnyy aspekt*. 2024. No. 7. Available at: <https://na-journal.ru/7-2024-informacionnye-tehnologii/14269-cifrovye-metody-prinyatiya-reshenii-v-zadachah-upravleniya-zapasami-materialnyh-resursov-proizvodstva> (In Russ.).
7. Sviridova V. V. Innovative Approaches to Optimization of Warehouse and Inventory Management Systems of an Industrial Enterprise. *Ekonomika i socium*. 2024. No. 5–1 (120). pp. 1613–1617. (In Russ.).
8. Ionov K. E. Actual Problems of Inventory Management. *Vestnik nauki*. 2022. No. 4 (49). pp. 52–59. (In Russ.).
9. Leontiev A. S. Inventory Management Problem Under Uncertainty. Model of Optimal Choice of Inventory Management Strategy with Random Demand and Unreliable Suppliers. *Aktual'nyye issledovaniya*. 2024. No. 15 (197). pp. 51–57. (In Russ.).
10. Nikolaev V. V. Improving the Efficiency of Inventory Management in Crisis Conditions. *Ekonomicheskiiy vector*. 2022. No. 2 (29). pp. 38–42. (In Russ.).
11. Kopylov D. G. Improving Logistics Management of Inventories at a Fuel and Energy Complex Enterprise. *Vestnik nauki*. 2024. No. 7 (76). Vol. 2. pp. 53–58. (In Russ.).
12. Ipatyeva I. A., Elyashevich I. P. Models and Methods for Managing Inventories of Perishable Raw Materials and Supplies: Review of Publications From 2016 to 2021. *Vestnik Moskovskogo universiteta* 2022. No. 3. pp. 177–231. (In Russ.).
13. Doronin V. A. Application of Genetic Algorithm for Optimization of Warehouse Stocks. *Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtoma-tizirovannykh sistemakh*. 2006. No. 9. pp. 117–123. (In Russ.).
14. Gvozdinsky A. N., Malyshkin V. A., Tishchenko I. V. Application of Evolutionary Optimization Methods in Inventory Control Problems. *Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya i pribory avtomatiki*. 2011. No. 157. pp. 102–06. (In Russ.).
15. Prokhorenko O. V. Use of Evolutionary Methods in Transportation Planning in Supply. *Nauka, obrazovaniye, kadry*. 2016. pp. 23–28. (In Russ.).