

УДК: 338.001.36

DOI: 10.17586/2310-1172-2023-16-2-164-179

Научная статья

## **Обзор методов управления цепочками поставок: будущие, настоящие и прошлые подходы к моделированию**

*Канд. экон. наук* **Роголин Р.С.** rafassiaofusa@mail.ru  
*Владивостокский государственный университет*  
690014, Россия, Приморский край, г. Владивосток, ул. Гоголя, 41

*Управление цепочками поставок играет жизненно важную роль в современных бизнес-операциях, включая координацию и оптимизацию деятельности нескольких организаций. Эффективное моделирование проблемы цепочки поставок имеет решающее значение для принятия обоснованных решений и повышения общей эффективности цепочки поставок. Этот систематический обзор направлен на анализ и оценку текущих и исторических подходов, используемых при моделировании проблемы управления цепочками поставок. Обзор классифицирует избранные статьи на основе используемых методов моделирования, таких как математическая оптимизация, моделирование, сетевой анализ и машинное обучение. В нем анализируются и обобщаются результаты каждого подхода к моделированию, подчеркиваются их сильные стороны, ограничения и применимость к различным проблемным областям SCM. Кроме того, обзор выявляет тенденции, общие темы и пробелы в литературе, обеспечивая понимание эволюции методов моделирования с течением времени. В нем также обсуждаются новые тенденции, новые методологии и инновационные подходы, выявленные в ходе обзора. Обсуждаются последствия результатов для практиков цепочки поставок, исследователей и политиков, а также потенциальные будущие направления моделирования проблемы SCM. В обзоре подчеркивается важность комплексных подходов, динамического принятия решений, поведенческих соображений, моделирования устойчивости и устойчивости, передовой аналитики данных и методов искусственного интеллекта, отраслевого моделирования и стратегий управления рисками. Результаты этого систематического обзора способствуют пониманию прошлых и будущих подходов к моделированию проблемы SCM, направляя будущие исследовательские усилия и поддерживая принятие основанных на фактических данных решений в управлении цепочками поставок.*

*Ключевые слова:* управление цепочками поставок, подходы к моделированию, систематический обзор, математическая оптимизация, моделирование, сетевой анализ, машинное обучение, тенденции, последствия, будущие направления.

---

Scientific article

## **A systematic review of modeling approaches in supply chain management: past, present, and future perspectives**

*Ph.D.* **Rogulin R.S.** rafassiaofusa@mail.ru  
*Vladivostok State University*  
690014, Russia, Primorsky Krai, Vladivostok, Gogol str., 41

*Supply chain management plays a vital role in modern business operations, encompassing the coordination and optimization of activities across multiple entities. Effective modeling of the supply chain problem is crucial for making informed decisions and improving overall supply chain performance. This systematic review aims to analyze and evaluate the current and historical approaches used in modeling the supply chain management problem. The review categorizes selected articles based on the modeling techniques employed, such as mathematical optimization, simulation, network analysis, and machine learning. It analyzes and summarizes the findings of each modeling approach, highlighting their strengths, limitations, and applicability to different SCM problem domains. Furthermore, the review identifies trends, common themes, and gaps in the literature, providing insights into the evolution of modeling techniques over time. It also discusses emerging trends, novel methodologies, and innovative approaches identified during the review. The implications of the findings for supply chain practitioners, researchers, and policymakers are discussed, along with potential future directions for modeling the SCM problem. The review underscores the importance of integrated approaches, dynamic decision-making, behavioral considerations, sustainability and resilience modeling,*

*advanced data analytics and AI techniques, industry-specific modeling, and risk management strategies. The outcomes of this systematic review contribute to the understanding of past and future approaches in modeling the SCM problem, guiding future research efforts and supporting evidence-based decision-making in supply chain management.*

**Keywords:** Supply chain management, modeling approaches, systematic review, mathematical optimization, simulation, network analysis, machine learning, trends, implications, future directions.

## 1. Введение

### 1.1. Предыстория и контекст управления цепочками поставок и его важность в современных бизнес-операциях

Управление цепочками поставок (SCM) играет ключевую роль в современных бизнес-операциях, выступая в качестве основы глобальной торговли и коммерции. Он включает в себя планирование, координацию и выполнение действий, связанных с потоком товаров, услуг, информации и финансов между несколькими организациями, которые образуют сеть взаимосвязанных объектов [1-3].

Значение SCM связано с возрастающей сложностью и взаимозависимостью современного делового ландшафта. Поскольку компании стремятся эффективно удовлетворять потребности клиентов, сохраняя при этом конкурентные преимущества, эффективное управление цепочкой поставок становится обязательным. SCM позволяет организациям оптимизировать свои операции, рационализировать процессы, снизить затраты и повысить общую удовлетворенность клиентов [2-5].

В сегодняшнем глобализованном мире цепочки поставок становятся все более сложными, включая несколько уровней поставщиков, производителей, дистрибьюторов и розничных продавцов, расположенных в разных географических точках. Эта сложность дополнительно усугубляется различными внешними факторами, такими как глобализация, неустойчивая динамика рынка, быстрый технологический прогресс, изменение поведения потребителей и нормативные требования.

SCM обеспечивает целостную структуру, объединяющую различные функции, включая закупки, производство, управление запасами, транспортировку, складирование, прогнозирование спроса и управление взаимоотношениями с клиентами. Это позволяет компаниям эффективно управлять потоками материалов, информации и средств по всей цепочке поставок, обеспечивая своевременную доставку, сводя к минимуму свои и оптимизируя распределение ресурсов [4-8].

Эффективное управление цепочками поставок предлагает организациям многочисленные преимущества. Это помогает повысить операционную эффективность за счет оптимизации процессов, сокращения времени выполнения заказа и минимизации уровня запасов, что способствует экономии средств и улучшению финансовых показателей. SCM также способствует эффективному сотрудничеству и координации между партнерами по цепочке поставок, укрепляя взаимовыгодные отношения и обеспечивая обмен информацией и ресурсами.

Кроме того, SCM способствует повышению удовлетворенности и лояльности клиентов, обеспечивая наличие продуктов, своевременную доставку и оперативное обслуживание клиентов. Это позволяет организациям лучше понимать требования клиентов и реагировать на них, что приводит к улучшению выполнения заказов и повышению доверия клиентов.

Кроме того, SCM оказывает более широкое влияние за пределы отдельных организаций. Он влияет на инициативы в области устойчивого развития, оптимизируя транспортные маршруты, сокращая выбросы углерода и продвигая ответственные методы поиска и производства. Кроме того, эффективное управление цепочками поставок способствует экономическому росту, стимулируя торговлю, создавая возможности для трудоустройства, а также способствуя инновациям и конкурентоспособности на мировом рынке.

В заключение управление цепочками поставок имеет первостепенное значение в современных бизнес-операциях благодаря его способности оптимизировать процессы, снижать затраты, повышать удовлетворенность клиентов, способствовать сотрудничеству и повышать общую эффективность организации. Поскольку предприятия продолжают ориентироваться во все более сложной и динамичной среде, эффективное управление цепочками поставок становится решающим фактором успеха в достижении операционного совершенства, сохранении конкурентного преимущества и удовлетворении меняющихся потребностей и ожиданий клиентов.

### 1.2. Краткий обзор проблем и сложностей, с которыми сталкиваются менеджеры по цепям поставок

Руководители цепочки поставок сталкиваются с широким спектром проблем и сложностей в своих усилиях по эффективному управлению потоками товаров, информации и финансов по всей цепочке поставок. Эти проблемы связаны с различными факторами, такими как глобализация, технологические достижения, динамика рынка, ожидания клиентов и нормативные требования. Здесь мы предоставляем обширный обзор ключевых проблем и сложностей, с которыми сталкиваются менеджеры по цепочке поставок [6-12].

1. Волатильность спроса. Одной из основных проблем является изменчивость и неопределенность потребительского спроса. Колеблющиеся рыночные условия, меняющиеся предпочтения потребителей и непредсказуемые модели спроса затрудняют точное прогнозирование спроса менеджерами цепочки поставок и соответствующую корректировку уровней производства и запасов. Быстрые изменения спроса могут привести к нехватке товаров, избыточным запасам и неэффективному распределению ресурсов, что повлияет на удовлетворенность клиентов и общую прибыльность.

2. Глобализация и сложные сети. Растущая глобализация цепочек поставок привела к сложностям, связанным с управлением расширенными сетями поставщиков, производителей, дистрибьюторов и розничных продавцов, разбросанных по разным странам и континентам. Имея дело с различными культурами, часовыми поясами, языками, правовыми системами и логистической инфраструктурой, менеджеры по цепочке поставок должны ориентироваться в сложных отношениях и устанавливать эффективные каналы связи и сотрудничества. Им необходимо решать такие задачи, как выбор поставщиков, управление рисками, торговое регулирование и оптимизация глобальных транспортных сетей, чтобы обеспечить своевременную и рентабельную доставку товаров.

3. Прозрачность цепочки поставок и обмен информацией. Достижение сквозной прозрачности цепочки поставок является серьезной задачей. Менеджерам цепочки поставок нужна точная и оперативная информация об уровне запасов, статусе заказов, графиках транспортировки и производства, чтобы принимать обоснованные решения и оперативно реагировать на сбои. Однако разрозненные системы, хранилища данных и несовместимые технологии у партнеров по цепочке поставок препятствуют беспрепятственному обмену информацией. Преодоление этих барьеров и внедрение надежных информационных систем и платформ для совместной работы имеет решающее значение для повышения прозрачности и гибкости операций цепочки поставок.

4. Управление рисками цепочки поставок. Цепочки поставок подвержены различным рискам, включая стихийные бедствия, геополитическую нестабильность, перебои с поставщиками, колебания спроса и угрозы кибербезопасности. Руководители цепочки поставок должны активно выявлять, оценивать и снижать эти риски, чтобы свести к минимуму их влияние на общую производительность цепочки поставок. Это включает в себя разработку планов на случай непредвиденных обстоятельств, диверсификацию сетей поставщиков, реализацию стратегий снижения рисков и использование таких технологий, как прогнозная аналитика и моделирование цепочки поставок.

5. Технологические достижения. Быстрые технологические достижения, такие как Интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (ИИ), блокчейн и расширенная аналитика, могут трансформировать операции цепочки поставок. Однако внедрение и интеграция этих технологий в существующие системы цепочки поставок может быть сложной задачей. Руководителям цепочки поставок необходимо оценить осуществимость, затраты и преимущества внедрения новых технологий, обеспечить совместимость с существующей инфраструктурой и решить проблемы, связанные с безопасностью данных, конфиденциальностью и недостатком навыков.

6. Устойчивое развитие и этические соображения: все чаще руководители цепочек поставок сталкиваются с проблемой учета экологических и этических соображений в своей деятельности. Это включает в себя устранение воздействия на окружающую среду, социальную ответственность, этический подход к выбору поставщиков, справедливую трудовую практику и соблюдение нормативных требований. Руководителям цепочки поставок необходимо сотрудничать с поставщиками и другими заинтересованными сторонами для разработки стратегий устойчивого снабжения, оценки и сокращения углеродного следа, а также внедрения прозрачных и ответственных методов по всей цепочке поставок.

7. Давление затрат и эффективности. Руководители цепочки поставок находятся под постоянным давлением необходимости оптимизировать затраты и повышать эффективность при сохранении высокого уровня обслуживания. Им необходимо определить возможности для снижения затрат, улучшения процессов и сокращения отходов по всей цепочке поставок. Баланс эффективности затрат с качеством обслуживания и оперативностью реагирования требует поиска компромиссов и постоянного мониторинга и оптимизации ключевых показателей эффективности (KPI), таких как оборачиваемость запасов, скорость выполнения заказов и транспортные расходы.

В заключение менеджеры цепочки поставок сталкиваются с широким спектром проблем и сложностей, поскольку они ориентируются в динамичном и взаимосвязанном характере операций цепочки поставок. Решение этих задач требует сочетания стратегического планирования, совместной работы, внедрения технологий, управления рисками и инициатив по постоянному совершенствованию. Эффективно управляя этими сложностями, менеджеры цепочки поставок могут повысить удовлетворенность клиентов, получить конкурентное преимущество и добиться операционного совершенства в современной быстро меняющейся и требовательной бизнес-среде.

### 1.3. Введение в цель исследования: будущие и прошлые подходы к моделированию проблемы SCM

Целью данного исследования является проведение всестороннего обзора как будущих, так и прошлых подходов к моделированию проблемы управления цепочками поставок (SCM). Моделирование цепочки поставок играет решающую роль в понимании, анализе и оптимизации сложной динамики и взаимодействий в цепочках поставок. Применяя различные методы моделирования, исследователи и практики могут получить представление о поведении систем цепочки поставок, оценить различные стратегии и принять обоснованные решения для повышения общей эффективности цепочки поставок.

Изучение как будущих, так и прошлых подходов необходимо для обеспечения целостного понимания эволюции и достижений в моделировании SCM. Прошлые подходы заложили основу для нынешних практик и внесли ценный вклад в динамику цепочки поставок. Рассматривая исторические подходы, мы можем определить ключевые методологии, методы и модели, которые использовались в прошлом, проанализировать их сильные и слабые стороны и оценить их применимость в настоящем контексте.

Более того, не менее важно изучить будущие подходы к моделированию SCM. Область управления цепочками поставок постоянно развивается благодаря технологическим достижениям, меняющейся динамике рынка и новым тенденциям. Изучая будущие подходы, мы можем определить передовые методы моделирования, инновационные методологии и новые области исследований, которые обладают потенциалом для решения возникающих проблем и сложностей в управлении цепочками поставок. Этот обзор поможет исследователям и практикам быть в курсе последних событий, предвидеть будущие тенденции и исследовать новые возможности для моделирования проблемы SCM.

Обзор будет охватывать широкий спектр методов моделирования, используемых в управлении цепочками поставок, таких как математическая оптимизация, моделирование, сетевой анализ, машинное обучение и другие соответствующие подходы. Рассмотрев несколько методов моделирования, мы можем предоставить всесторонний анализ их сильных и слабых сторон и применимости в различных контекстах SCM. Кроме того, в этом обзоре будет рассмотрено, как эти подходы к моделированию применялись для решения конкретных проблем SCM, таких как управление запасами, прогнозирование спроса, оптимизация логистики, выбор поставщиков и планирование производства, среди прочих.

С помощью этого систематического обзора мы стремимся объединить существующие знания и идеи, связанные с моделированием цепочки поставок, как в прошлом, так и в будущем. Результаты этого исследования помогут исследователям, практикам и лицам, принимающим решения, понять современное состояние моделирования SCM, выявить пробелы в текущей литературе и определить направления будущих исследований. В конечном счете, углубляя наше понимание подходов к моделированию в SCM, мы можем внести свой вклад в развитие и повышение эффективности методов управления цепями поставок, способствуя лучшему принятию решений и повышению производительности в цепочках поставок.

## 2. Цель исследования

### 2.1. Анализ и оценка текущих и исторических подходов при моделировании проблемы SCM

Целью этого систематического обзора является проведение всестороннего анализа и оценки как текущих, так и исторических подходов, используемых при моделировании проблемы управления цепочками поставок (Supply Chain Management, далее SCM). Моделирование цепочки поставок является важным аспектом понимания и оптимизации сложностей операций цепочки поставок. Изучая и сравнивая различные подходы к моделированию, мы стремимся определить их сильные стороны, ограничения и вклад в области SCM.

Для достижения этой цели систематически анализировался широкий спектр научных статей, исследовательских работ, материалов конференций и других соответствующих источников, в которых обсуждаются подходы к моделированию SCM. Обзор охватывает как современную, так и историческую литературу, чтобы обеспечить всестороннее понимание эволюции и достижений в методах моделирования.

Обзор сосредоточен на оценке эффективности и применимости различных подходов к моделированию, используемых в SCM. Оценены методологии, методы и модели, использовавшиеся в прошлом и настоящем для представления и анализа систем цепочки поставок. Этот анализ позволит нам определить сильные и слабые стороны различных подходов к моделированию и понять их пригодность для решения конкретных проблем SCM.

Анализируя исторические подходы, возможно определить основу и развитие методов моделирования SCM с течением времени. Этот анализ поможет понять эволюцию моделирования SCM, ключевые вехи и вклад первых исследователей в этой области. Кроме того, оценивается контекст, в котором применялись эти исторические подходы, поставленные исследовательские вопросы и возникшие ограничения.



Кроме того, критически оценены текущие состояния SCM-моделирования. Этот анализ включает выявление новых тенденций, новых методологий и инновационных методов, которые были недавно разработаны и применены в моделировании SCM. Рассмотрено, как эти современные подходы улучшили понимание SCM и преодолели ограничения предыдущих моделей.

С помощью этого систематического обзора мы стремимся предоставить всестороннюю и объективную оценку текущих и исторических подходов, используемых в моделировании SCM. Результаты этого обзора помогут исследователям, практикам и лицам, принимающим решения, понять ландшафт моделирования SCM, получить представление о сильных и слабых сторонах различных подходов и определить области для дальнейших исследований и улучшений.

В конечном счете этот обзор поспособствует развитию SCM-моделирования за счет консолидации существующих знаний, выявления пробелов в литературе и выделения областей, в которых необходимы дальнейшие исследования. Оценивая и синтезируя текущие и исторические подходы к моделированию SCM, мы можем предоставить ценную информацию, которая может помочь в будущих усилиях по моделированию и повысить эффективность методов управления цепочками поставок.

## 2.2. Объем и границы обзора, включая временные рамки и конкретные методы моделирования

Объем этого систематического обзора охватывает конкретные временные рамки, методы моделирования и границы, чтобы обеспечить целенаправленный и всесторонний анализ подходов, используемых при моделировании проблемы управления цепочками поставок (SCM).

### Временные рамки:

Обзор охватывает определенные временные рамки, затрагивая как историческую, так и современную литературу. Историческая перспектива включает основополагающие работы и влиятельные исследования в области моделирования SCM, дающие представление о раннем развитии методов моделирования. Современная перспектива сосредоточена на последних публикациях, отражающих последние достижения и тенденции в моделировании SCM. Временные рамки, рассматриваемые для этого обзора, научаются от начала исследования моделирования SCM до наших дней.

### Техники моделирования:

В этом обзоре рассмотрен широкий спектр методов моделирования, используемых в SCM. Они включают, помимо прочего, математические модели оптимизации, имитационные модели, сетевой анализ, машинное обучение, подходы, основанные на данных, модели на основе агентов и другие соответствующие методы. Включая несколько методов моделирования, мы стремимся охватить разнообразие и применимость подходов, используемых в моделировании SCM.

### Границы:

Важно установить границы, чтобы обеспечить управляемый объем и направленность. Обзор в первую очередь сосредоточен на подходах к моделированию, применяемых к основным областям управления цепочками поставок, таким как управление запасами, прогнозирование спроса, оптимизация транспортировки, выбор поставщиков, планирование производства и складирование. Из обзора исключены подходы к моделированию, которые не имеют прямого отношения к управлению цепочками поставок или те, которые в основном сосредоточены на конкретных поддоменах, не входящих в основные функции SCM. В обзоре приоритет отдается научным статьям, исследовательским работам, материалам конференций и другим авторитетным источникам из рецензируемых журналов и конференций. Эти источники обеспечивают строгую академическую основу для оценки подходов к моделированию и их вклада в область SCM.

Важно отметить, что этот обзор не включает сбор исходных данных или первичное исследование. Вместо этого он сосредотачивается на анализе и синтезе существующей литературы, чтобы предоставить всесторонний обзор методов моделирования и их приложений в SCM. Определяя объем и границы этого систематического обзора, мы стремимся обеспечить целенаправленный и тщательный анализ выбранных временных рамок и методов моделирования. Результаты этого обзора представляют ценную информацию об эволюции, эффективности и текущих тенденциях моделирования SCM, что позволит исследователям и практикам получить всестороннее представление о подходах, используемых для решения проблемы SCM.

## 3. Анализ данных

### 3.1. Классифицировать выбранные статьи на основе используемых методов моделирования

Отобранные статьи для этого систематического обзора классифицированы на основе методов моделирования, используемых в контексте управления цепочками поставок (SCM). Классификация статей в

соответствии с методами моделирования обеспечивает структурированную основу для анализа и сравнения подходов, используемых в моделировании SCM. Рассмотрены следующие категории:

1. Математическая оптимизация. В эту категорию включены статьи, в которых используются методы математической оптимизации, такие как линейное программирование, целочисленное программирование, смешанно-целочисленное программирование и нелинейное программирование, для моделирования и оптимизации различных аспектов цепочки поставок. Эти методы обычно используются для оптимизации запасов, планирования производства, определения местоположения объектов и задач оптимизации транспортировки.

2. Моделирование. Статьи, подпадающие под эту категорию, включают использование имитационных моделей для воспроизведения и анализа операций цепочки поставок. Имитационные модели отражают динамическую природу цепочек поставок, позволяя исследователям оценивать различные сценарии, тестировать стратегии и оценивать производительность. Моделирование дискретных событий, моделирование на основе агентов и системная динамика обычно используются в моделировании SCM.

3. Сетевой анализ. В эту категорию входят статьи, в которых используются методы сетевого анализа для моделирования и анализа сетей цепочек поставок. Методы сетевого анализа сосредоточены на понимании отношений, взаимодействий и потока материалов, информации и финансов в сети цепочки поставок. Оптимизация сети, анализ центральности и визуализация сети являются одними из наиболее часто используемых методов сетевого анализа в моделировании SCM.

4. Машинное обучение. Статьи в этой категории посвящены применению алгоритмов и методов машинного обучения для моделирования и анализа данных цепочки поставок. Подходы машинного обучения, такие как кластеризация, классификация, регрессия, нейронные сети и деревья решений, используются для выявления закономерностей, прогнозирования спроса, оптимизации уровней запасов и повышения эффективности цепочки поставок. Эти методы используют силу данных для получения информации и принятия решений в SCM.

Важно отметить, что в некоторых статьях может использоваться комбинация различных методов моделирования или интегрироваться несколько подходов для решения конкретных проблем SCM. В таких случаях статьи будут соответствующим образом классифицированы на основе основного метода моделирования или метода, который оказывает наибольшее влияние на результаты исследования.

Разделив выбранные статьи по категориям на основе методов моделирования, этот систематический обзор представляет структурированный анализ различных подходов, используемых в моделировании SCM. Эта категоризация позволяет всесторонне оценить сильные стороны, ограничения и области применения каждого метода моделирования при рассмотрении различных аспектов управления цепочками поставок. Это также облегчает сравнительный анализ эффективности и пригодности различных подходов к моделированию для конкретных проблем SCM, способствуя более глубокому пониманию моделирования SCM в целом.

### 3.2. Анализ и обобщение каждого подхода к моделированию, включая их сильные стороны, ограничения и применимость к различным проблемным областям SCM

Анализ и обобщение результатов для каждого подхода к моделированию, используемого в контексте управления цепочками поставок (SCM), даёт представление об их сильных сторонах, ограничениях и применимости к различным проблемным областям SCM:

1. Математическая оптимизация. Методы математической оптимизации предлагают мощные инструменты для моделирования и оптимизации операций цепочки поставок. Сильные стороны этого подхода заключаются в его способности предоставлять оптимальные решения, поддерживать принятие количественных решений и справляться со сложными ограничениями. Математические модели оптимизации могут эффективно решать проблемы управления запасами, планирования производства, проектирования распределительных сетей и оптимизации транспортировки. Они позволяют менеджерам цепочки поставок находить оптимальные решения, которые минимизируют затраты, максимизируют эффективность и удовлетворяют потребности клиентов. Однако эти модели часто основаны на упрощающих предположениях, таких как детерминированный спрос и фиксированные затраты, которые могут не отражать динамичный и неопределенный характер реальных цепочек поставок. Кроме того, решение сложных задач оптимизации может потребовать значительных вычислительных ресурсов и времени.

2. Моделирование. Имитационные модели воспроизводят динамику цепочки поставок в реальном мире и позволяют проводить анализ сценариев и оценку эффективности. Сила моделирования заключается в его способности учитывать сложность и изменчивость процессов цепочки поставок. Он предоставляет гибкую основу для тестирования различных стратегий, оценки воздействия сбоев и оценки производительности системы в различных условиях. Имитационные модели особенно полезны для понимания взаимодействия между различными субъектами в цепочке поставок, оценки влияния изменчивости спроса и оценки эффективности политик управления запасами. Однако создание точных имитационных моделей требует глубокого понимания процессов

цепочки поставок, а сбор данных может оказаться сложной задачей. Имитационные модели также могут требовать значительных вычислительных ресурсов, что требует много времени для выполнения обширных симуляций или анализа крупномасштабных цепочек поставок.

3. Сетевой анализ. Методы сетевого анализа обеспечивают целостное представление о сети цепочки поставок, уделяя особое внимание взаимосвязям и потокам материалов, информации и финансов. Сетевой анализ позволяет идентифицировать критические узлы, анализировать эффективность и устойчивость сети, а также оптимизировать структуру сети цепочки поставок. Он предлагает информацию о выборе поставщиков, сотрудничестве и оценке рисков. Сетевой анализ может выявить сложные взаимозависимости в цепочке поставок и выявить узкие места, неэффективность и уязвимости. Однако методы сетевого анализа могут чрезмерно упрощать определенные аспекты цепочки поставок, такие как игнорирование временных и стохастических факторов. Кроме того, они могут не учитывать поведенческие аспекты принятия решений в цепочке поставок и влияние действий отдельных субъектов на общую производительность сети.

4. Машинное обучение. Подходы к машинному обучению используют алгоритмы, основанные на данных, для извлечения закономерностей, прогнозирования и оптимизации процессов цепочки поставок. Сильные стороны машинного обучения заключаются в его способности обрабатывать большие и разнообразные наборы данных, выявлять скрытые закономерности и адаптироваться к меняющимся условиям. Модели машинного обучения могут повысить точность прогнозирования спроса, оптимизировать управление запасами, выявлять аномалии и обеспечивать профилактическое обслуживание. Эти подходы могут использовать данные в режиме реального времени, улучшать процесс принятия решений и обеспечивать гибкие и оперативные операции цепочки поставок. Однако модели машинного обучения требуют больших объемов высококачественных данных для обучения и проверки. Они также имеют ограничения в объяснении обоснования прогнозов и могут быть чувствительны к систематическим ошибкам, присутствующим в обучающих данных.

Применимость каждого подхода к моделированию к различным предметным областям SCM зависит от конкретных характеристик и требований проблемы. Математическая оптимизация хорошо подходит для задач с четкими целями, известными ограничениями и фиксированными параметрами. Моделирование эффективно при изучении динамики системы, тестировании различных сценариев и оценке влияния неопределенностей. Сетевой анализ полезен для анализа структуры и эффективности сетей цепочки поставок. Машинное обучение превосходно использует данные для выявления закономерностей, прогнозирования и оптимизации процессов принятия решений.

В целом каждый подход к моделированию имеет свои сильные и слабые стороны. Комбинирование нескольких подходов или их интеграция с экспертными знаниями в предметной области может обеспечить более полное понимание динамики цепочки поставок и поддержать принятие решений в различных проблемных областях SCM. Понимание сильных сторон, ограничений и применимости каждого подхода к моделированию имеет решающее значение для выбора наиболее подходящих методов для решения конкретных задач SCM и повышения эффективности цепочки поставок.

### 3.3. Тенденции, общие темы и пробелы в литературе

Выявление тенденций, общих тем и пробелов в литературе является важным шагом в систематическом обзоре подходов к моделированию управления цепочками поставок (SCM). Анализируя существующую литературу, мы можем получить ценную информацию о текущем состоянии исследований, новых тенденциях, областях консенсуса и пробелах, которые требуют дальнейшего изучения.

#### 3.3.1. Тенденции [8-20]:

а. Интеграция аналитики данных. Заметной тенденцией в моделировании SCM является растущая интеграция методов аналитики данных, включая машинное обучение и аналитику больших данных. Исследователи используют доступность огромных объемов данных для улучшения процесса принятия решений, повышения точности прогнозирования, оптимизации операций и обеспечения мониторинга процессов цепочки поставок в режиме реального времени.

б. Устойчивость и устойчивость: все большее внимание уделяется интеграции соображений устойчивости и устойчивости в моделирование SCM. Это включает в себя устранение воздействия на окружающую среду, социальную ответственность и способность противостоять сбоям и неопределенностям. Исследователи изучают модели, которые включают в себя устойчивые методы, такие как оптимизация экологически чистой логистики и замкнутые цепочки поставок, а также модели, ориентированные на устойчивость, которые повышают надежность и гибкость цепочки поставок.

в. Цифровизация цепочек поставок. Цифровая трансформация цепочек поставок является важной тенденцией, и подходы к моделированию адаптируются к этому сдвигу. Это включает в себя внедрение таких

технологий, как Интернет вещей (IoT), блокчейн и искусственный интеллект, чтобы обеспечить прозрачность, отслеживаемость и автоматизацию процессов цепочки поставок в режиме реального времени.

### 3.3.2. Общие темы [19-20]:

а. Многоцелевая оптимизация: Многие исследования сосредоточены на многоцелевой оптимизации, стремясь сбалансировать противоречивые цели, такие как минимизация затрат, максимальный уровень обслуживания клиентов и экологическая устойчивость. Эта тема отражает признание того, что решения о цепочке поставок включают несколько критериев, которые необходимо учитывать одновременно.

б. Риск и неопределенность. Устранение риска и неопределенности является постоянной темой моделирования SCM. Исследователи разрабатывают модели, которые могут учитывать изменчивость спроса, перебои с поставщиками, задержки транспортировки и другие факторы неопределенности, чтобы повысить устойчивость цепочки поставок и принятие решений в условиях неопределенности.

в. Сотрудничество и координация. Сотрудничество и координация между партнерами по цепочке поставок имеют решающее значение для эффективного и действенного управления цепочкой поставок. Несколько исследований сосредоточены на подходах к моделированию, которые способствуют сотрудничеству, механизмам координации и обмену информацией для повышения эффективности и оперативности цепочки поставок.

### 3.3.3. Пробелы [1-10]:

а. Междисциплинарные подходы: хотя моделирование SCM по своей сути является междисциплинарным, существует потребность в большей интеграции с другими областями, такими как исследование операций, наука о данных и поведенческие науки. Включение идей из этих дисциплин может обеспечить более целостное понимание динамики цепочки поставок и принятия решений.

б. Принятие решений в реальном времени. В литературе часто отсутствуют исследования, посвященные принятию решений в режиме реального времени при моделировании SCM. По мере того, как цепочки поставок становятся более динамичными и гибкими, возникает потребность в моделях, которые могут обрабатывать данные в режиме реального времени, обеспечивать быстрое принятие решений и поддерживать адаптивные стратегии.

в. Человеческий фактор. Человеческому поведению и принятию решений в цепочке поставок уделяется относительно меньше внимания при моделировании SCM. Включение поведенческих аспектов, таких как влияние отдельных лиц, принимающих решения, организационная культура и стимулы, может повысить реалистичность и эффективность моделей.

Выявление этих тенденций, общих тем и пробелов в литературе дает ценную информацию для будущих исследований. Исследователи могут опираться на существующие тенденции, исследовать новые возможности и устранять пробелы в знаниях. Будущие исследования могут быть сосредоточены на разработке более интегрированных и междисциплинарных моделей, решении проблем принятия решений в режиме реального времени и учете человеческого фактора для повышения применимости и эффективности подходов к моделированию SCM.

## 4. Синтез и обсуждение

### 4.1. Основные выводы прошлых и будущих подходов к моделированию проблемы SCM

Синтез основных выводов из выбранных статей предлагает обзор прошлых и будущих подходов к моделированию проблемы управления цепочками поставок (SCM). Изучая литературу [1-20], мы можем определить значительный вклад, достижения и новые тенденции, которые сформировали область моделирования SCM.

#### 4.1.1. Прошлые подходы к моделированию SCM:

а. Математическая оптимизация. Исторические исследования широко использовали методы математической оптимизации, такие как линейное программирование и смешанно-целочисленное программирование, для решения различных задач SCM. Эти модели ориентированы на оптимизацию уровней запасов, планирование производства, маршрутизацию транспортировки и решения о размещении объектов. Прошлые подходы подчеркнули эффективность математической оптимизации в повышении эффективности цепочки поставок и снижении затрат.

б. Эвристика и метаэвристика: в прошлом исследователи также изучали использование эвристики и метаэвристики для решения сложных проблем SCM. Эти подходы, в том числе генетические алгоритмы, имитация отжига и поиск запретов, давали приблизительные решения, когда поиск оптимального решения был сложным с



вычислительной точки зрения. Они предложили практичные и эффективные решения для проектирования сети цепочки поставок, маршрутизации транспортных средств и планирования производства.

в. Модели, основанные на имитационном моделировании. В исторических исследованиях часто использовались имитационные модели, чтобы зафиксировать динамическое поведение цепочек поставок и оценить влияние различных стратегий. Методы моделирования дискретных событий и моделирования на основе агентов обычно использовались для понимания потоков материалов, информации и средств в цепочках поставок. Эти модели позволили исследователям оценить производительность систем цепочки поставок, изучить влияние изменчивости и сбоев, а также протестировать различные сценарии.

#### 4.1.2. Будущие подходы к моделированию SCM:

а. Подходы, основанные на данных: растущая доступность данных и достижения в методах анализа данных будут определять будущее моделирования SCM. Исследователи используют алгоритмы машинного обучения и аналитику больших данных, чтобы извлекать ценную информацию, прогнозировать модели спроса, оптимизировать управление запасами и обеспечивать принятие решений в режиме реального времени. Подходы, основанные на данных, предлагают потенциал для повышения точности, оперативности и адаптивности моделирования SCM.

б. Интеграция оптимизации и моделирования. Будущее SCM-моделирования заключается в интеграции методов оптимизации и моделирования. Исследователи изучают гибридные модели, которые сочетают в себе сильные стороны математических моделей оптимизации и подходов, основанных на имитационном моделировании. Интегрируя эти подходы, они могут оптимизировать решения по цепочке поставок с учетом динамического поведения и неопределенностей операций цепочки поставок. Эта интеграция обеспечивает более надежное и реалистичное моделирование систем цепочки поставок.

в. Технологии блокчейна и распределенного реестра. Появление технологий блокчейна и распределенного реестра открывает новые возможности для моделирования SCM. Эти технологии обеспечивают повышенную прозрачность, отслеживаемость и безопасный обмен информацией между партнерами по цепочке поставок. Будущие подходы к моделированию будут изучать, как блокчейн может улучшить прозрачность цепочки поставок, отслеживать продукты и обеспечивать эффективные и надежные транзакции.

#### 4.1.3. Ключевые идеи и направления:

а. Целостные и интегрированные подходы. Основные выводы подчеркивают необходимость целостных и интегрированных подходов к моделированию SCM. Будущие модели должны учитывать всю сеть цепочки поставок, включать несколько критериев принятия решений и учитывать неопределенности и поведенческие аспекты. Интеграция междисциплинарных аспектов, таких как исследование операций, наука о данных и поведенческие науки, повысит реалистичность и эффективность моделей SCM.

б. Гибкость и устойчивость. Прошлый и будущий подходы подчеркивают важность гибкости и устойчивости в моделировании SCM. С ростом сложности и неопределенностей в цепочках поставок необходимо разрабатывать модели для устранения сбоев, адаптации к изменениям и повышения устойчивости цепочки поставок. Это включает в себя включение стратегий управления рисками, надежных методов оптимизации и способность быстро реагировать на непредвиденные события.

в. Устойчивое развитие и социальная ответственность. Будущие подходы к моделированию SCM должны также учитывать соображения устойчивого развития и социальной ответственности. Модели, которые учитывают воздействие на окружающую среду, социальную справедливость и этические нормы, имеют решающее значение для создания устойчивых и ответственных цепочек поставок. Исследователям следует изучить модели оптимизации, включающие экологически чистую логистику, замкнутые цепочки поставок и принципы экономики замкнутого цикла.

Синтез основных результатов дает всесторонний обзор прошлых и будущих подходов к моделированию SCM. Исторические подходы заложили основу для методов оптимизации, моделирования и эвристического моделирования. Будущие направления подчеркивают интеграцию подходов, основанных на данных, гибридных моделей оптимизации и моделирования, а также использование новых технологий. Принимая во внимание эти ключевые результаты, исследователи могут еще больше продвинуться в области моделирования SCM, обеспечивая более эффективные, устойчивые и устойчивые операции цепочки поставок.

## 4.2. Эволюция методов моделирования с течением времени и их потенциальное влияние на решение проблем в управлении цепочками поставок

Эволюция методов моделирования в управлении цепочками поставок (SCM) была обусловлена необходимостью решения растущих сложностей и проблем, с которыми сталкиваются менеджеры цепочек

поставок. Со временем методы моделирования эволюционировали от традиционных подходов математической оптимизации к более продвинутым и комплексным методам. Эта эволюция может существенно повлиять на то, как решаются проблемы в управлении цепочками поставок.

Методы математической оптимизации широко используются в SCM-моделировании уже несколько десятилетий. Эти методы, в том числе линейное программирование, целочисленное программирование и смешанное целочисленное программирование, послужили основой для оптимизации решений цепочки поставок, таких как уровень запасов, планирование производства и маршрут транспортировки. Использование математической оптимизации позволило минимизировать затраты, улучшить распределение ресурсов и повысить эффективность операций цепочки поставок. Однако традиционные модели оптимизации часто делали упрощающие допущения и не могли отразить динамичный и неопределенный характер реальных цепочек поставок.

По мере того как цепочки поставок становились все более сложными и динамичными, методы моделирования на основе имитационного моделирования приобретали все большее значение. Моделирование дискретных событий и агентное моделирование позволили исследователям воспроизвести поведение процессов цепочки поставок, смоделировать различные сценарии и оценить влияние различных стратегий. Имитационные модели позволили получить представление о взаимодействии между различными субъектами в цепочке поставок, эффектах изменчивости и производительности систем цепочки поставок в различных условиях. Эти модели предлагали более реалистичное представление динамики цепочки поставок и позволяли анализировать сложные сценарии, которые было сложно решить с помощью одних только традиционных подходов к оптимизации.

Признавая ограничения традиционных моделей оптимизации и моделирования, интеграция этих двух подходов стала мощной техникой моделирования SCM. В интегрированных моделях используются сильные стороны как методов оптимизации, так и методов моделирования, что позволяет оптимизировать решения по цепочке поставок с учетом динамического и неопределенного характера операций цепочки поставок. Эти модели могут оптимизировать решения, связанные с планированием производства, управлением запасами и распределением, в то же время используя данные в реальном времени, изменчивость спроса и сценарии сбоя. Интеграция оптимизации и моделирования обеспечивает более полное и точное представление динамики цепочки поставок, что позволяет лучше принимать решения и повышать производительность.

С появлением аналитики больших данных и передовых технологий, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, подходы, основанные на данных, получили известность в моделировании SCM. Эти методы используют огромные объемы данных, генерируемых в цепочках поставок, для извлечения закономерностей, прогнозирования и оптимизации процессов принятия решений. Алгоритмы машинного обучения могут повысить точность прогнозирования спроса, оптимизировать управление запасами и обнаруживать аномалии. Кроме того, новые технологии, такие как блокчейн и Интернет вещей (IoT), обеспечивают видимость в режиме реального времени, отслеживаемость и безопасный обмен информацией в цепочках поставок. Эти достижения могут произвести революцию в моделировании SCM, позволяя принимать решения в режиме реального времени, улучшая прозрачность цепочки поставок и улучшая сотрудничество и координацию между партнерами по цепочке поставок.

Эволюция методов моделирования в SCM может по-разному решать проблемы, с которыми сталкиваются менеджеры цепочки поставок. Интегрированные модели оптимизации и моделирования обеспечивают более точное представление динамики цепочки поставок, позволяя менеджерам принимать обоснованные решения и снижать риски. Подходы, основанные на данных, позволяют анализировать большие и разнообразные наборы данных, открывая ценную информацию для повышения эффективности цепочки поставок и оперативности. Передовые технологии упрощают мониторинг, отслеживание и безопасный обмен информацией в режиме реального времени, обеспечивая гибкие и эффективные операции цепочки поставок. Используя эти развивающиеся методы моделирования, менеджеры цепочки поставок могут улучшить процесс принятия решений, оптимизировать операции, повысить качество обслуживания клиентов и решить проблемы, связанные с глобализацией, динамичным спросом клиентов и сбоями в цепочке поставок.

В заключение эволюция методов моделирования в SCM отражает необходимость решения растущих проблем и сложностей в управлении цепочками поставок. От традиционной математической оптимизации до имитационного моделирования и от интегрированных оптимизационных и имитационных моделей до подходов, основанных на данных, и передовых технологий, эти достижения могут значительно повлиять на управление цепочками поставок, предоставляя более точные и целостные представления динамики цепочек поставок, позволяя принятие решений в режиме реального времени и получение ценной информации из данных. Руководители цепочек поставок могут использовать эти методы моделирования для преодоления сложностей современных цепочек поставок и повышения операционной эффективности, оперативности и удовлетворенности клиентов.

#### 4.3. Новые тенденции, новые методологии и инновационные подходы

В ходе систематического обзора было выявлено несколько новых тенденций, новых методологий и инновационных подходов, что указывает на продолжающуюся эволюцию моделирования в управлении цепочками поставок (SCM). Эти достижения обладают большим потенциалом для решения сложных задач и повышения эффективности цепочки поставок.

Методы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) набирают обороты в моделировании SCM. Эти подходы позволяют анализировать большие наборы данных, выявлять закономерности и создавать прогностические модели для прогнозирования спроса, оптимизации запасов и управления рисками. Методы искусственного интеллекта и машинного обучения также могут повысить прозрачность цепочки поставок, выявлять аномалии и поддерживать принятие решений в режиме реального времени. Возможность автоматизации и изучения данных открывает новые возможности для оптимизации и улучшения поддержки принятия решений в SCM. Предиктивная и предписывающая аналитика становится все более важной в моделировании SCM. Предиктивная аналитика использует исторические данные и статистические модели для прогнозирования будущих событий и тенденций, что позволяет принимать упреждающие решения и планировать спрос. Предписывающая аналитика, с другой стороны, использует алгоритмы оптимизации, чтобы предоставить действенную информацию и рекомендации для оптимального принятия решений. Эти передовые методы аналитики помогают менеджерам цепочки поставок предвидеть меняющиеся условия и реагировать на них, а также принимать обоснованные решения для повышения операционной эффективности. Проектирование и оптимизация сети стали критически важными областями моделирования SCM. Традиционные подходы к проектированию сети цепочки поставок заменяются более динамичными и гибкими моделями, учитывающими такие факторы, как волатильность спроса, предпочтения клиентов и критерии устойчивости. Кроме того, модели оптимизации сети расширяются, чтобы включать в себя различные элементы цепочки поставок, такие как маршрутизация транспортировки, управление запасами и местоположение объекта, интегрированным образом для достижения сквозной оптимизации и снижения затрат.

Концепция цифрового двойника, виртуальной копии физической системы цепочки поставок, набирает обороты как инновационный подход к моделированию SCM. Создавая цифрового двойника, менеджеры цепочки поставок могут моделировать и визуализировать поведение реальной системы, что позволяет им анализировать различные сценарии, тестировать стратегии и определять возможности для улучшения. Технология цифровых двойников в сочетании с интеграцией данных в режиме реального времени обеспечивает мощный инструмент для понимания динамики цепочки поставок и принятия обоснованных решений.

Блокчейн и технология распределенного реестра (DLT) могут трансформировать моделирование цепочки поставок за счет повышения прозрачности, отслеживаемости и доверия между партнерами по цепочке поставок. Системы на основе блокчейна могут обеспечить безопасную и защищенную от несанкционированного доступа запись транзакций, происхождение продукта и информацию о цепочке поставок. Эта технология может оптимизировать процессы цепочки поставок, уменьшить мошенничество, обеспечить эффективное отслеживание и отслеживание, а также улучшить сотрудничество между заинтересованными сторонами. Поскольку устойчивость становится приоритетом для организаций, все больше внимания уделяется подходам к моделированию, поддерживающим принципы экономики замкнутого цикла и устойчивое управление цепочками поставок. Эти модели направлены на минимизацию отходов, оптимизацию использования ресурсов и снижение воздействия на окружающую среду. Они охватывают замкнутые цепочки поставок, повторное производство, переработку и экологический дизайн. Включение показателей и ограничений устойчивости в подходы к моделированию может помочь организациям достичь своих целей в области экологической и социальной ответственности. Новые тенденции, новые методологии и инновационные подходы демонстрируют динамичный характер моделирования SCM. Они отражают растущую потребность в передовых методах для решения сложных задач и использования возможностей, предоставляемых технологическим прогрессом. Принимая эти тенденции и методологии, менеджеры по цепям поставок могут расширить свои возможности принятия решений, повысить эффективность работы, способствовать сотрудничеству и ориентироваться в развивающемся ландшафте глобальных цепочек поставок.

#### 4.4. Выявление пробелов в исследованиях и областей, требующих дальнейшего изучения

Хотя систематический обзор пролил свет на различные подходы и тенденции в моделировании проблемы управления цепочками поставок (SCM), было выявлено несколько пробелов в исследованиях и областей, требующих дальнейшего изучения. Эти пробелы подчеркивают области, в которых дополнительные исследовательские усилия могут способствовать развитию области моделирования SCM.

Хотя предпринимались попытки интегрировать различные подходы к моделированию, такие как оптимизация и имитационное моделирование, все еще есть возможности для дальнейшего изучения. Изучение интеграции передовых методов, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, с традиционными подходами к моделированию может повысить точность и эффективность моделей SCM. Разработка гибридных моделей, сочетающих сильные стороны различных подходов, может обеспечить более полное и реалистичное представление динамики цепочки поставок.

Поскольку цепочки поставок становятся все более сложными и изменчивыми, возникает потребность в подходах к моделированию, поддерживающих динамическое принятие решений в реальном времени. Существующие модели часто предполагают статические условия или опираются на исторические данные, что ограничивает их способность быстро реагировать на меняющиеся обстоятельства. Изучение моделей динамической оптимизации, которые могут адаптироваться к данным в режиме реального времени и непредвиденным событиям, может обеспечить более гибкое и оперативное управление цепочками поставок.

Многие модели SCM в первую очередь сосредоточены на оптимизации операционных и финансовых аспектов, часто игнорируя поведенческие аспекты принятия решений в цепочке поставок. Изучение включения поведенческих факторов, таких как доверие, сотрудничество и отношение к риску, может дать более глубокое понимание того, как поведение человека влияет на эффективность цепочки поставок. Понимание и моделирование этих поведенческих аспектов может помочь улучшить сотрудничество, уменьшить информационную асимметрию и улучшить процессы принятия решений.

В то время как устойчивость и экологичность приобретают все большее значение в SCM, существует потребность в более надежных и комплексных подходах к моделированию в этих областях. Изучение того, как эффективно интегрировать показатели устойчивости, экологические соображения и принципы экономики замкнутого цикла в модели SCM, может позволить разработать и оценить устойчивые и экологичные цепочки поставок. Разработка моделей, учитывающих компромиссы между экономическими, экологическими и социальными целями, будет способствовать принятию более обоснованных решений в целях создания устойчивых и экологичных цепочек поставок. Доступность и качество данных по-прежнему создают проблемы при моделировании SCM. Многие модели основаны на исторических данных, которые могут неадекватно отражать сложности и динамику современных цепочек поставок. Изучение способов улучшения сбора данных, интеграции и обеспечения качества в моделировании SCM может повысить надежность и точность выходных данных модели. Изучение альтернативных источников данных, таких как датчики IoT, социальные сети и краудсорсинг, также может способствовать более всестороннему моделированию в реальном времени.

Различные отрасли промышленности имеют уникальные характеристики и проблемы в работе цепочки поставок. Изучение отраслевого моделирования SCM может предоставить индивидуальные решения, учитывающие сложности и требования, характерные для отрасли. В таких отраслях, как здравоохранение, розничная торговля, электронная коммерция и производство, могут потребоваться специализированные подходы к моделированию, которые учитывают их конкретные ограничения, правила и требования клиентов.

Хотя управление рисками имеет решающее значение в операциях цепочки поставок, по-прежнему существует необходимость в улучшении моделирования рисков и стратегий устойчивости. Изучение методов моделирования и количественной оценки различных источников риска, таких как сбои, неопределенность поставок и волатильность спроса, может обеспечить упреждающее управление рисками и оценку стратегий устойчивости. Разработка моделей, объединяющих методы управления рисками и решения по проектированию цепочек поставок, может повысить устойчивость цепочек поставок. Таким образом, выявленные пробелы в исследованиях SCM-моделирования открывают возможности для дальнейшего изучения и продвижения в этой области. Устранив эти пробелы, исследователи могут внести свой вклад в разработку более надежных, динамичных и всеобъемлющих подходов к моделированию, которые решают сложности и проблемы, с которыми сталкиваются современные цепочки поставок. Дальнейшее изучение этих областей позволит менеджерам цепочки поставок принимать обоснованные решения, оптимизировать операции, повышать устойчивость и экологичность, а также эффективно ориентироваться в постоянно меняющейся среде управления цепочками поставок.

## 5. Заключение

Систематический обзор прошлых и будущих подходов к моделированию проблемы управления цепочками поставок (SCM) предоставил ценную информацию о состоянии этой области.

1. Методы моделирования. Обзор определил ряд методов моделирования, используемых в SCM, включая математическую оптимизацию, моделирование, сетевой анализ и машинное обучение. Математическая оптимизация широко используется для оптимизации решений по цепочке поставок, а моделирование позволяет анализировать сложные сценарии и оценивать различные стратегии. Сетевой анализ упростил проектирование и



оптимизацию сетей цепочек поставок, а методы машинного обучения использовались для извлечения закономерностей, прогнозирования и оптимизации процессов принятия решений.

2. Сильные стороны и ограничения. Каждый подход к моделированию имеет свои сильные и слабые стороны. Математическая оптимизация обеспечивает строгие решения и позволяет принимать оптимальные решения, но может иметь проблемы со сложными и динамичными средами цепочки поставок. Моделирование позволяет представить сложности реального мира, но оно может потребовать больших вычислительных ресурсов и не может предоставить оптимальные решения. Сетевой анализ дает представление о структуре и эффективности цепочек поставок, но может упускать из виду динамические аспекты. Методы машинного обучения могут работать с большими и разнообразными наборами данных, но они могут потребовать существенной предварительной обработки данных и не поддаются интерпретации.

3. Применимость к проблемным областям SCM. В обзоре подчеркивается применимость различных методов моделирования к конкретным проблемным областям SCM. Математическая оптимизация широко используется для управления запасами, планирования производства и маршрутизации транспортировки. Моделирование использовалось для анализа планирования мощностей, прогнозирования спроса и сбоя в цепочке поставок. Сетевой анализ применялся для проектирования цепочки поставок, определения местоположения объекта и оптимизации транспортной сети. Методы машинного обучения использовались для прогнозирования спроса, профилактического обслуживания и обнаружения аномалий.

4. Возникающие тенденции и будущие направления. Обзор выявил несколько новых тенденций и будущих направлений в моделировании SCM. К ним относится интеграция нескольких подходов к моделированию, таких как оптимизация и моделирование, для охвата как оптимизационных, так и динамических аспектов цепочек поставок. Использование ИИ и методов машинного обучения для использования больших данных и улучшения процессов принятия решений. Изучение технологии цифровых двойников для моделирования и оптимизации операций цепочки поставок. Интеграция принципов устойчивости и экономики замкнутого цикла в модели SCM. Включение поведенческих аспектов и стратегий управления рисками в подходы к моделированию.

5. Пробелы в исследованиях. Обзор выявил несколько пробелов в исследованиях, которые требуют дальнейшего изучения. К ним относятся интеграция различных подходов к моделированию, динамическое принятие решений в реальном времени, поведенческие аспекты в моделировании SCM, моделирование устойчивости и устойчивости, доступность и качество данных, моделирование SCM для конкретных отраслей, а также управление рисками и моделирование устойчивости.

В целом, систематический обзор обеспечил всестороннее понимание прошлых и будущих подходов к моделированию проблемы SCM. В нем были отмечены сильные стороны, ограничения и применимость различных методов моделирования, а также выявлены новые тенденции и пробелы в исследованиях. Эти результаты вносят вклад в базу знаний по моделированию SCM, направляя будущие исследования и позволяя менеджерам цепочки поставок принимать обоснованные решения, оптимизировать операции и решать проблемы современных цепочек поставок.

Систематический обзор прошлых и будущих подходов к моделированию проблемы управления цепочками поставок (SCM) имеет важные последствия для практиков, исследователей и политиков в цепочках поставок.

Специалисты по цепочке поставок: результаты обзора дают ценную информацию для специалистов по цепочке поставок. Они могут лучше понять различные доступные методы моделирования, их сильные и слабые стороны. Эти знания могут помочь специалистам-практикам принимать обоснованные решения о том, какие подходы к моделированию наиболее подходят для их конкретных задач в цепочке поставок. Они могут использовать полученные данные для оптимизации операций своей цепочки поставок, улучшения процессов принятия решений и повышения общей эффективности цепочки поставок. Кроме того, в обзоре освещаются новые тенденции и инновационные подходы, такие как искусственный интеллект и машинное обучение, которые специалисты-практики могут использовать, чтобы получить конкурентное преимущество и адаптироваться к меняющейся динамике ландшафта цепочки поставок.

Исследователи. В систематическом обзоре представлены несколько пробелов в исследованиях и областей, требующих дальнейшего изучения. Исследователи могут использовать эти результаты в качестве основы для будущих исследований. Устранив выявленные пробелы в исследованиях, исследователи могут внести свой вклад в развитие моделирования SCM и предложить практические решения проблем, с которыми сталкиваются цепочки поставок. В обзоре также освещаются новые тенденции и новые методологии, что дает исследователям возможность глубже изучить эти области. Проводя тщательные исследования и разрабатывая инновационные методы моделирования, исследователи могут расширить базу знаний по моделированию SCM и внести свой вклад в общий объем исследований в области управления цепочками поставок.

Политики. Последствия обзора распространяются на политиков, участвующих в формировании правил и политик, связанных с управлением цепочками поставок. Разработчики политики могут использовать результаты, чтобы получить представление о новейших методах моделирования и тенденциях, что позволит им принимать

обоснованные решения при разработке политики, влияющей на цепочки поставок. В обзоре подчеркивается важность устойчивости, устойчивости и управления рисками в моделировании SCM, что может служить ориентиром для политиков при разработке политики, способствующей созданию устойчивых и устойчивых цепочек поставок. Кроме того, директивные органы могут использовать результаты для стимулирования инноваций и поддержки внедрения новых технологий в операциях цепочки поставок, таких как искусственный интеллект и блокчейн, путем создания благоприятной политической среды.

Таким образом, систематический обзор дает практические выводы для практиков цепочки поставок, исследователей и политиков. Он дает практикующим специалистам знания, необходимые для принятия обоснованных решений и оптимизации операций в цепочке поставок. Он помогает исследователям выявлять пробелы в исследованиях и направления для дальнейших исследований, способствуя развитию инновационных подходов к моделированию. Наконец, он информирует политиков о последних тенденциях и новых технологиях, позволяя им формировать политику, поддерживающую устойчивые, гибкие и эффективные цепочки поставок. Принимая во внимание последствия обзора, эти заинтересованные стороны могут коллективно способствовать совершенствованию методов управления цепочками поставок и способствовать позитивным изменениям в глобальном ландшафте цепочек поставок.

Основываясь на выявленных пробелах и новых тенденциях в моделировании проблемы управления цепочками поставок (SCM), можно выделить несколько потенциальных будущих направлений. Эти направления отражают возможности для дальнейшего развития и улучшения SCM-моделирования.

Одним из возможных будущих направлений является разработка подходов к интегрированному моделированию, которые объединяют несколько методов для охвата как оптимизации, так и динамических аспектов цепочек поставок. Интеграция математической оптимизации, моделирования и машинного обучения может обеспечить целостное представление динамики цепочки поставок при оптимизации процессов принятия решений. Гибридные модели, в которых используются сильные стороны различных подходов, могут обеспечить более полное и реалистичное понимание сложных операций цепочки поставок.

Учитывая растущую сложность и изменчивость цепочек поставок, будущие подходы к моделированию должны быть направлены на обеспечение динамического принятия решений в режиме реального времени. Эти модели должны уметь адаптироваться к данным в режиме реального времени и непредвиденным событиям, позволяя менеджерам цепочки поставок быстро реагировать на изменения и сбои. Включение методов машинного обучения и искусственного интеллекта может повысить способность моделей анализировать данные в реальном времени, выявлять закономерности и генерировать прогностические модели, поддерживающие гибкое принятие решений.

Будущие модели SCM должны учитывать поведенческие аспекты процессов принятия решений. Интеграция поведенческих факторов, таких как доверие, сотрудничество и отношение к риску, может обеспечить более реалистичное представление динамики цепочки поставок. Учитывая поведение человека, модели могут лучше отражать сложности совместного принятия решений, переговоров и обмена информацией между партнерами по цепочке поставок. Такая интеграция может привести к улучшению сотрудничества, уменьшению информационной асимметрии и более эффективному принятию решений.

Интеграция соображений устойчивости и устойчивости в модели SCM является важным направлением в будущем. Подходы к моделированию должны включать показатели устойчивости, экологические соображения и принципы экономики замкнутого цикла, чтобы обеспечить возможность проектирования и оценки устойчивых и устойчивых цепочек поставок. Это включает в себя оптимизацию решений, связанных с экологичной логистикой, сокращением выбросов углекислого газа, управлением отходами и внедрением методов замкнутой цепочки поставок. Интегрируя моделирование устойчивости и устойчивости, менеджеры цепочки поставок могут принимать обоснованные решения, соответствующие целям экологической и социальной ответственности.

Будущее моделирование SCM заключается в использовании расширенного анализа данных и методов искусственного интеллекта для раскрытия потенциала больших данных и информации в реальном времени. Предиктивная и предписывающая аналитика, алгоритмы машинного обучения и методы оптимизации на основе данных помогают выявлять закономерности, прогнозировать спрос, оптимизировать уровни запасов и выявлять аномалии в операциях цепочки поставок. Используя возможности данных и расширенной аналитики, модели могут предоставлять более точную и полезную информацию для улучшения процесса принятия решений.

Еще одним будущим направлением является разработка моделей SCM для конкретных отраслей. Различные отрасли промышленности имеют уникальные характеристики, проблемы и требования в своей цепочке поставок. Адаптация подходов к моделированию для конкретных отраслевых контекстов, таких как здравоохранение, розничная торговля, электронная коммерция и производство, может решить отраслевые сложности и обеспечить более точное и эффективное принятие решений. Эти отраслевые модели могут включать ограничения, правила и требования клиентов, относящиеся к предметной области, что повышает их применимость и актуальность.

Будущие модели SCM должны еще больше улучшить моделирование рисков и стратегий устойчивости. Это включает в себя разработку моделей, которые могут эффективно измерять и управлять различными источниками риска, такими как сбои, неопределенность поставок и волатильность спроса. Интегрированное управление рисками и моделирование устойчивости могут обеспечить упреждающую оценку рисков, их снижение и оценку стратегий устойчивости. Принимая во внимание методы управления рисками при проектировании цепочек поставок, модели могут повысить устойчивость цепочек поставок и обеспечить эффективное реагирование на риски.

В заключение следует отметить, что выявленные пробелы и новые тенденции в моделировании SCM открывают интересные будущие направления для исследований и практики. Эти направления охватывают комплексные подходы к моделированию, динамическое принятие решений, поведенческие аспекты, моделирование устойчивости и устойчивости, расширенный анализ данных и методы искусственного интеллекта, отраслевое моделирование, а также управление рисками и моделирование устойчивости. Следуя этим будущим направлениям, исследователи и практики могут продвинуться в области моделирования SCM и решать возникающие проблемы в управлении цепочками поставок, прокладывая путь к более эффективным, устойчивым и устойчивым цепочкам поставок.

### Литература (References)

1. *Najafnejhad E., Tavassoli Roodsari M., Sepahrom S. et al.* A mathematical inventory model for a single-vendor multi-retailer supply chain based on the Vendor Management Inventory Policy. *Int J Syst Assur Eng Manag* 12, 579–586 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01120-z>
2. *Sana S.S.* A structural mathematical model on two echelon supply chain system. *Annals of Operations Research* 315, 1997–2025 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03895-z>.
3. *Xiuhong Li, Li Ding, Caixia Wang.* Research on Optimization of Enterprise Procurement Supply Chain Management Based on B2B E-commerce. *Academic Journal of Business & Management* (2022) Vol. 4, Issue 3: 99-102. <https://doi.org/10.25236/AJBM.2022.040318>.
4. *Soroush Avakh Darestani, Mehran Hemmati* Robust optimization of a bi-objective closed-loop supply chain network for perishable goods considering queue system. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 136. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.018>
5. *Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., Caputo M.* Sustainable Supply Chains with Blockchain, IoT and RFID: A Simulation on Order Management. *Sustainability* 2021, 13, 6372. <https://doi.org/10.3390/su13116372>.
6. *Lohmer J., Bugert N., Lasch R.* Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. *Int. J. Prod. Econ.* 2020, 228, 107882. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107882>
7. *Husna Asma, et al.* "Demand Forecasting in Supply Chain Management Using Different Deep Learning Methods." *Demand Forecasting and Order Planning in Supply Chains and Humanitarian Logistics*, edited by Atour Taghipour, IGI Global, 2021, pp. 140-170. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3805-0.ch005>
8. *Gülen K.* (2023). Unleashing the Power of AI with the Rise of Intelligent Supply Chain Management. In *Artificial Intelligence, Industry, Transportation & Logistics*. <https://dataconomy.com/2023/01/artificial-intelligence-supply-chain/>
9. *Mishra R., Singh R. and Govindan K.* (2022), "Net-zero economy research in the field of supply chain management: a systematic literature review and future research agenda", *The International Journal of Logistics Management*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJLM-01-2022-0016>
10. *Fathollahi-Fard A.M., Dulebenets M.A., Tian G. et al.* Sustainable supply chain network design. *Environmental Science and Pollution Research* (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18956-y>
11. *Md Sadikur Rahman, Md. Al-Amin Khan, Mohammad Abdul Halim, Taher A. Nofal, Ali Akbar Shaikh, Emad E. Mahmoud* Hybrid price and stock dependent inventory model for perishable goods with advance payment related discount facilities under preservation technology, *Alexandria Engineering Journal*, Volume 60, Issue 3, 2021, Pages 3455-3465. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.01.045>
12. *Liu Z., Wu Y., Liu T., Wang X., Li W., Yin, Y., Xiao X.* Double Path Optimization of Transport of Industrial Hazardous Waste Based on Green Supply Chain Management. *Sustainability* 2021, 13, 5215. <https://doi.org/10.3390/su13095215>
13. *Lochan S.A., Rozanova T.P., Bezpalov V.V., Fedyunin D.V.* Supply Chain Management and Risk Management in an Environment of Stochastic Uncertainty (Retail). *Risks* 2021, 9, 197. <https://doi.org/10.3390/risks9110197>.
14. *Rostami O., Tavakoli M., Tajally A., & GhanavatiNejad M.* (2022). A Goal Programming-Based Fuzzy Best-Worst Method for the Viable Supplier Selection Problem: A Case Study. *Soft Computing*, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07572-0>

15. *Feng Xu, Yu-Meng Zhang, Yi Su, Jia Li, Jia-Ming Zhu* "Intelligent Application of Raw Material Supply Chain Planning System Based on Genetic Algorithm", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, Article ID 5054529, 13 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5054529>
16. *Abu Hashan Md Mashud, Md. Rakibul Hasan, Yosef Daryanto, Hui-Ming Wee* A resilient hybrid payment supply chain inventory model for post Covid-19 recovery, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 157, 2021, 107249, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107249>.
17. *Tirkolaee E. B., Aydin N. S., & Mahdavi I.* (2022). A Hybrid Biobjective Markov Chain-Based Optimization Model for Sustainable Aggregate Production Planning. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1-11. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3210879>
18. *Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A., Oghazi P., & Fischl M.* (2021). Artificial Intelligence in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Journal of Business Research*, 122, 502-517. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>
19. *Wang X., Kumar V., Kumari A., & Kuzmin E.* (2022). Impact of Digital Technology on Supply Chain Efficiency in Manufacturing Industry. In V. Kumar, J. Leng, V. Akberdina, & E. Kuzmin (Eds.), *Digital Transformation in Industry. Lecture Notes in Information Systems and Organisation* (Vol. 54, pp. 347-371). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94617-3\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94617-3_25)
20. *Zamani E. D., Smyth C., Gupta S., & Dennehy D.* (2022). Artificial Intelligence and Big Data Analytics for Supply Chain Resilience: A Systematic Literature Review. *Annals of Operations Research*, 1-28. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04983-y>.

Статья поступила в редакцию 11.05.2023  
Принята к публикации 01.06.2023

Received 11.05.2023  
Accepted for publication 01.06.2023