Е. С. Акопова, З. Б. Хмельницкая, П. Л. Сизов

ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

Аннотация

В статье рассматривается актуальная проблема исследования сетевой структуры цепей поставок. Предложен авторский подход к построению имитационной модели сетевой структуры цепей поставок в виде направленного графа. Сформулирован ряд условий, которые необходимо учитывать при моделировании. Описана концепция цифрового близнеца в цепях поставок. Показано, каким образом на практике могут быть решены прикладные оптимизационные задачи с использованием авторского методического подхода моделирования сетевой структуры цепей поставок и математического аппарата теории графов.

Ключевые слова

Сетевая структура цепей поставок, моделирование цепей поставок, имитационное моделирование, оптимизационные задачи в цепях поставок.

E. S. Akopova, Z. B. Khmelnitskaya, P. L. Sizov

IMITATION MODELING OF NETWORK STRUCTURE OF SUPPLY CHAINS

Annotation

Article deals with the actual problem of studying the network structure of supply chains. The author's approach to constructing a simulation model of network structure of supply chains in the form of directed graph is proposed. Number of conditions that must be taken into account when modeling are formulated. Concept of a digital twin in supply chains is de-

scribed. It is shown how applied optimization problems can be solved in practice using the author's methodological approach to modeling the network structure of supply chains and mathematical apparatus of graph theory.

Keywords

Network structure of supply chains, supply chain modeling, simulation modeling, optimization problems in supply chains.

Введение

В настоящее время многие компании пытаются как никогда использовать конкурентные преимущества с помощью рационализации цепей поставок. Прикладные программные решения могут определить, когда на складе не хватает товара, а также определить источник проблемы, вызванной доставкой по маршруту, складской ситуацией или изменением объема заказа. В период мировой пандемии COVID-19 цепи поставок стали модернизироваться настолько стремительно, что особо острым ставится вопрос построения универсальных моделей, отражающих реальное состояние процессов в любой ситуации. Компании повышают оперативность реагирования на потребности клиентов, выполняют их требования по доставке нужного продукта в нужное место в нужное время, выстраивают модель логистической сети и создают систему ее информационного обеспечения, в которую в свою очередь уже и закладывается экономико-математический аппарат и могут быть применены цифровые технологии такие как блокчейн, внедрение датчиков для фиксации событий и передачи информации онлайн, веб-технологии, облачные технологии, распределенные обмены данными, хранение и обработка больших данных, концепция искусственного интеллекта и др.

Таким образом, без построения качественной модели исследуемой сети не будет возможности и принятия оперативных и корректных решений прикладных задач в исследуемых цепях поставок.

Материалы и методы

Управление цепями поставок (Supply Chain Management — SCM) представляет собой концепцию, осуществляющую интегрированный подход к управлению и планированию информационными потоками хозяйствующих субъектов касательно продуктов, сырья, материалов и услуг. В логистических процессах, нацеленных на удовлетворение спроса конечных потребителей, возникает и преобразуется информация. При этом компания должна извлекать максимально возможную прибыль от своей деятельности.

Цепь поставок — это совокупность складов, экспедиторов, производителей, дистрибьюторов, торговых предприятий, которые сотрудничают и взаимодействуют в материальных, финансовых и информационных потоках, а также потоках услуг от источников исходного сырья до конечного потребителя. Цепь поставок представляет собой совокупность материальных процессов и соответствующих им информационных потоков между участниками цепи [1].

Управление цепями поставок — это планирование и управление всеми видами деятельности (в цепи поставок), включая сорсинг и управление закупками, преобразование (переработку) продукции и менеджмент всех видов логистической деятельности. Перечисленные виды логистической деятельности и связи между участниками образуют логистическую систему или сетевую структуру цепей поставок [17].

Для более точного понимания логистической системы рассмотрим какие существуют определения системы.

1. Система — это целостная сущность, созданная совокупностью элементов и взаимосвязей между ними.

2. Система рассматривается как совокупность взаимосвязанных объектов (элементов), которые оказывают полное или частичное воздействие или воспринимаются окружающей средой. Каждый составляющий объект представляется как относительно обособленный (подсистема), связанный с другими объектами и окружающей средой.

3. Система — это совокупность элементов и связей между ними, которая взаимодействует со средой, из которой она сформировалась при определенных условиях. Это может быть процесс, осуществляемый по заданным правилам, совокупность правил, по которым реализуется категория аналогичных процессов, совокупность технических средств, используемых для выполнения целевых процессов. Системы могут быть расширены до некоторой степени, а их элементы заменены другими. Это требует контроля связей между элементами системы и их взаимного регулирования [10].

Каждый целостный объект (элемент, компонент) существует как относительно выделенное целое, связанное с другими объектами (элементами, компонентами) и окружающей средой. Примером системы может служить логистическая цепочка, в которую входят: склады, транспортные средства, грузоотправители, приемники (потребители), производственные системы, системы обслуживания, информационные системы и др. [10].

Для анализа (либо проектирования) сетевой структуры цепей поставок в общем случае целесообразно разбить логистическую систему на подсистемы. Предлагается выделить следующие подсистемы:

– менеджмент — знания и практическая деятельность, связанная с планированием и контролем достижения целевого уровня удовлетворенности потребителей, уровня затрат и эффективности или прибыли;

– производство — создание товаров (деталей, узлов, полуфабрикатов и готовой продукции), термин обычно применяется к физическим операциям, необходимым для создания продукта;

– хранение — совокупность операций, связанных с ограниченным во времени приемом, сборкой, хранением, комплектацией, перемещением, обслуживанием, инвентаризацией и распределением товарно-материальных ценностей;

– манипулирование материалами — физические операции, связанные с изменением местоположения материалов в потоке с момента их получения до момента их распределения в пределах данного объекта, включая прием товаров, внутреннюю транспортировку, хранение, упаковку, распределение и доставку;

– поток материалов — направление и способ перемещения материалов вместе с последовательностью их распределения по производственной линии;

– регламентация — интегрированный набор правил, данных и отчетов для планирования и регулирования поставки производственной линии;

– контроль — проверка количества товаров и их соответствия заказу (согласно прилагаемому документу заказа) и спецификации;

– диагностики управления материальными потоками — оценка эффективности менеджмента. Оценка осуществляется в отношении емкости материального производства, что иллюстрирует эффективность управления материальными потоками, т. е. затрачиваемой электроэнергии, топлива, смазочных масел, уровень и динамику материальных запасов, динамика увеличения запасов, износа основных средств,

степень использования хранимых материалов в производстве продукции;

– утилизация отходов — рециркуляция, управление отходами твердой консистенции и жидкостями, которые не являются сточными водами, не могут быть использованы в производственном процессе;

– обеспечение инструментами — поток использования инструментов в физических процессах логистической системы;

– информационная система — совокупность всех элементов (и связей между ними), которые способствуют информационному потоку в производственно-логистической сфере.

Наряду с анализом подсистем в отношении производства необходимо анализировать потоки товарно-материальных ценностей и информации в соответствии с возникающими потребностями в логистической системе. Моделирование цепей поставок можно рассматривать как создание процессов, основанных на выборе наиболее оптимального решения, касающегося принципов взаимодействия участников отношений «отправитель — получатель». Сотрудничество может быть проанализировано с точки зрения количества отношений между партнерами и необходимости интенсивности контактов. Такой двумерный подход к кооперации при анализе сетевой структуры цепей поставок позволяет дифференцировать следующие модели:

– транзакционный — участники цепей поставок сосредоточены на транзакционном процессе. Например, это операция, связанная с покупкой или продажей товаров или услуг либо с подписанием договора купли-продажи товаров или услуг;

– сотрудничество — участники цепей поставок сотрудничают, совместно производят и совместно продают товары и услуги;

– скоординированный — участники цепей поставок могут договориться о взаимных действиях в режиме реального времени благодаря передовым IT-технологиям;

– синхронизированный — участники цепочки поставок еще больше связаны информационными системами, Интернетом, общей базой данных, применяемыми международными стандартами и т. д., благодаря которым они могут выполнять множество действий и процессов одновременно.

Сетевую структуры цепи поставок целесообразно формировать на основе следующих параметров:

1) границы и структурные размерности сети;

2) участники цепи поставок;

3) типы связей между участниками цепей поставок.

Таким образом, сетевая структура цепей поставок — это комбинация трех тесно взаимодействующих элементов. Построение сетевой структуры цепи поставок включает идентификацию участников и бизнес-процессов цепи поставок, между которыми необходимо установить связи, уровень интеграции применительно к каждому из них, их положение по отношению к фокусной компании, а также структурные размерности сети и ее границы [18]. При этом решение задачи выбора конфигурации и построения структуры логистической сети является основополагающим направлением оптимизации цепей поставок, что достаточно аргументировано изложено в работе А. Г. Самойловой [2] и представлена в виде схемы, показанной на рисунке 1. Авторы согласны с предложенной схемой сетевой структуры цепей поставок, но с учетом последовательности процессов и направленных от звена к звену материальных и информационных потоков, данная схема может быть представлена в виде направленного графа.

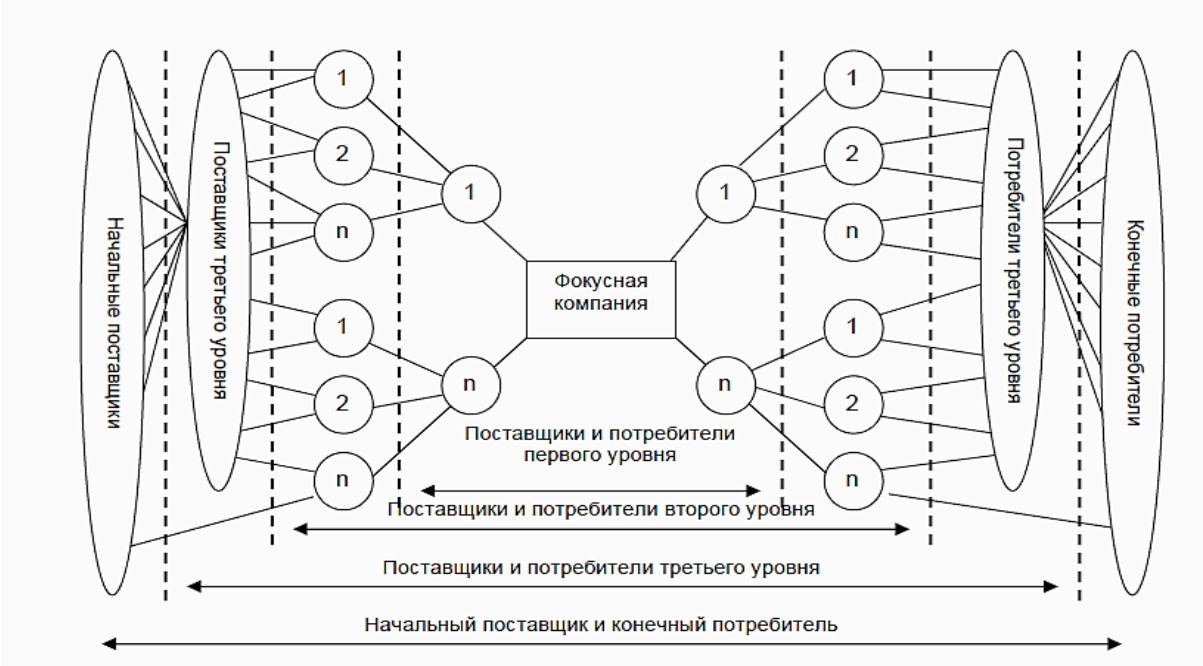

Рисунок 1 — **Сетевая структура цепей поставок** [2]

Модель сетевой структуры цепей поставок должна строиться исходя из принципов оптимизации следующих параметров:

– отклонение фактического исполнения заказа от прогнозируемого;

– влияние человеческого фактора на процессы в цепях поставок;

– количество запасов.

Существует ряд методов моделирования (оптимизационное, имитационное, эвристическое), которые можно использовать на практике. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. Использование моделирования важно для компаний, которые выбирают новую логистическую сеть или оптимизируют процессы в уже построенной сети. Различные методы моделирования могут позволить компаниям взглянуть на сравнение функционирования, доходности и эффективности обслуживания клиентов различных логистических сетей, которые были предложены. Имитационная модель создается и основывается на реальном мире. Когда модель создана, можно выполнить эксперименты с моделью, чтобы увидеть, как изменения, внесенные в модель, могут повлиять на процессы и связи в логистической сети. Например, изменяя ограничения в сети, можно использовать имитационную модель, чтобы увидеть, как это влияет на качественные и количественные показатели логистической сети. Чтобы построенная имитационная модель была эффективной, необходимо собрать значительные объемы данных о транспортировке, затратах на рабочую силу, обработке материалов и уровнях запасов, чтобы при внесении изменений в ограничения модель корректно отражала эти изменения [3].

Также при выборе модели и проектировании следует учитывать различные ограничения и условия:

– цель — для чего нужна модель, чего мы хотим достичь, например, какие отношения, меры, индексы улучшили цепочку поставок, чтобы она была конкурентоспособной;

– время — будь то единичное действие (например, продиктованное

временной логистикой) или постоянный процесс в цепях поставок;

– ассортимент — это цепь поставок от начала до конца, подлежащая перепроектированию, или только некоторые ее процессы, такие как хранение, транспортировка, информационная система и т. д.;

– ресурсы — кто будет управлять проектом, кто будет его осуществлять, существуют ли подходящие средства, адекватные технологии, инвестиционный бюджет;

– существующие взаимосвязи между участниками цепочки поставок — каковы возможности и ограничения, влияющие, например, на скорость информационного потока;

– риск — какой риск влечет за собой выбор того или иного решения; риск часто связан с защитой жизненно важных интересов участников цепей поставок, баз данных и т. д.

О необходимости построения качественных моделей для исследования процессов и решения прикладных задач говорит в работе «Моделирование цепей поставок в промышленности» М. Н. Ковалев: «Управление цепей поставок не возможно без проведения их анализа с помощью различных моделей. При построении моделей цепей поставок могут быть использованы методы сетевого управления» [4].

В исследовании «Концептуальная структура имитационной модели логистических процессов управления ремонтами предприятия электрических сетей» авторами делается вывод об эффективности использования имитационного моделирования, формируется схема логистической системы, применяется экономико-математический аппарат для построения частной модели исследуемого объекта [9].

В работе «Общее в подходе к имитационному моделированию информационных и транспортных сетей» авторы О. И. Кутузов, Т. М. Татарникова высказывают следующее мнение: «Имитационное моделирование представляется мощным инструментом для оценки и анализа движения транспортных и пешеходных потоков. Кроме того, некоторые программы позволяют в значительной мере упростить работу проектировщика и создают достоверную платформу для проектирования дорожно-транспортных объектов.

Приведенный анализ показывает, что в структурно-функциональном отношении имеется практически полное совпадение по назначению элементов инфокоммуникационной сети и транспортной сети: унифицированные единицы транспортировки как сообщений (пакет, кадр), так и материальных потоков (пакет, контейнер, роудрейлер), виртуальных каналов ИКС с транспортными коридорами, буферных накопителей в узлах ИКС и складов в транспортных узлах. Задачи, решаемые на сетях при макромоделировании, совпадают по постановке, аналогичны модели для многих объектов.

Эти соображения позволяют методы и модели ускоренной имитации в задачах разработки ИКС предложить и для решения транспортных задач» [12].

Моделирование отдельных процессов в подсистемах цепей поставок является основой для создания концепции моделирования их сетевой структуры. Модели разрабатываются путем непрерывного и параллельного применения реинжиниринга бизнес-процессов. Только путем создания унифицированных, общих баз данных, которые понятны всем участникам цепей поставок и затем применяются при построении моделей, удается достичь синергетического эффекта в решении следующих вопросов:

– разработка общей стратегии в управлении цепями поставок и стратегического планирования с точки зрения прогнозирования результатов, планирования рынка, организации сотрудниче-

ства, формировании бизнес-плана коммерческой деятельности;

– управление спросом и поставками (прогноз спроса, анализ рыночных данных, прогноз продаж, планирование и поставка запасов);

– текущее исполнение (планирование производства и поставок, поставка, распределение, реализация заказов, генерация заказов, закупка);

– создание аналитических и операционных проверок (реестр результатов заказчика, мониторинг фазы исполнения, оценка эффективности, форма оценки поставщика, использование запасов).

При проектировании модели также необходимо провести ряд мероприятий, в ходе которых все ключевые участники цепей поставок согласовывают детальное описание целей и требований к эффективности, а также декларируют их надлежащее исполнение:

– выяснение текущего состояния логистической стратегии, логистической системы и функциональных процессов, выполняемых в цепочке поставок;

– оценка физической распределительной сети и потока материалов между точками поставки, производства, распределения, возврата и использования;

– создание информационной системы, отражающей все материальные и информационные потоки;

– поиск наиболее эффективных методов для управления цепями поставок;

– выявить сильные и слабые стороны в цепях поставок с помощью детального анализа;

– изменить курс действий и поведение участников цепей поставок с точки зрения прозрачности информации и совместного доверия.

Как только построена модель цепи поставок, необходимо проверить отражены ли в ней следующие процессы, которые важны для оцифровки:

Оперативное принятие решений. Внедрение концепции искусственного интеллекта могут предоставлять участникам цепей поставок рекомендации о том, как нужно действовать в той или иной ситуации.

Сквозное взаимодействие между участниками цепи. Цифровые технологии могут повысить качество обслуживания клиентов, предоставляя участникам цепей поставок контроль процессов в режиме реального времени, а клиентам прозрачность.

Автоматизация операций. Внедрение автоматизированных операций высвобождают свободное время специалистов, что позволит им сосредоточиться на более важных задачах.

Инновации. Цифровая цепь поставок может дать компании уникальные конкурентные преимущества, укрепить ее бизнес-модель, а также позволит расширяться на новые сегменты рынка [11].

Результаты

По мнению авторов, при построении имитационной модели сетевой структуры цепей поставок в фактических условиях и формировании вершин графа, необходимо исходить из следующих важных условий.

1. Выделение этапов процессов, их очерёдность. Направленный граф для выявления этапов, которые обязательно должны быть выполнены, для наступления следующего этапа.

2. Работа с каждым этапом как с независимой подсистемой, у которой есть вход и выход. На практике это системный автоматический контроль либо установка ответственного лица, регламент отчётности для ответственного лица.

3. Выявление узких мест, ситуационных опасностей в цепях поставок. За какими показателями следим, что бы цепочка поставок не останавливались. (Например, при поставке необходимых материалов на производстве узким местом может быть «незаменимый» сотрудник, который заболел.) Возможно,

непредвиденные обстоятельства стоить вынести в отдельный пункт. Здесь можно учитывать и любые форс-мажорные ситуации.

4. Возможность внедрения SWOT-анализа — метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности), Threats (угрозы).

5. Выявление одной или нескольких показателей, по которым будет вестись учёт и оптимизация этапа (такие как время, расходы, дельта прибыли).

6. Каждый этап представляем в виде графа, где вершины бизнес состояния, а направленные вектора — физические бизнес действия. Безопасной наша система будет, если от входа на этап, до его выхода мы можем пройти несколькими путями. Если есть точка, через которую проходят все пути, она станет узким местом, это наша слабая точка. Например, если критически важный товар мы закупаем у одного поставщика, то наша цепь разорвётся, если поставщик не выполнит договорённости.

7. Построенный граф сам по себе уже мощный инструмент аналитики, а также даёт возможность находить наиболее эффективные пути решения наших задач. Задачи могут быть разные: минимальные расходы, минимальное время, минимальные задержки между шагами либо их комбинация: минимальное время при заданном бюджете.

8. Важным свойством создаваемой модели является автоматическое информирование на каждом этапе информационной системой, отражающей имитационную модель сетевой структуры цепей поставок.

Для построения имитационной модели сетевой структуры цепей поставок и решения оптимизационных задач авторами применена теория графов и ее математический аппарат [6, 7, 8].

Вычисления, приведенные ниже, образуют алгоритм Флойда — Уоршелла — Клини определения стоимости прохождения между любыми парами вершин. Так же существуют алгоритмы Форда — Беллмана и Дейкстры для решения задач на направленных графах, существуют и программные реализации данных алгоритмов, что дает возможность создания информационной системы на основании имитационной экономико-математической модели, открывает путь для решения прикладных задач.

Граф представляет собой совокупность непустого множества вершин и рёбер (наборов пар вершин). Две вершины на графе смежны, если они соединяются общим ребром. Взвешенным (или размеченным) ориентированным графом называют пару $W = (G, \varphi)$, где $G = (V, E)$ — обычный ориентированный граф, а $\varphi: E \to \mathcal{R}$ — весовая функция (или функция разметки) со значениями в некотором идемпотентном полукольце $\mathcal{R} = (R, +, \cdot, \mathbf{0}, \mathbf{1})$, причем $(\forall e \in E)(\varphi(e) \neq \mathbf{0})$ [8].

Предположим, что вершины ориентированного графа каким-либо образом пронумерованы. Тогда взвешенный ориентированный граф может быть задан матрицей A, элемент которой a_{ij} равен значению $\varphi((i,j))$ весовой функции на дуге (i,j), если из вершины i ведет дуга в вершину j, или нулю полукольца в противном случае. Стоимость прохождения из вершины v_i в вершину v_j (или между i-й и j-й вершинами) — это сумма в полукольце $\mathcal{R}$ меток всех путей, ведущих из вершины v_i в вершину v_j. [7, 8].

Выведем формулу для вычисления элемента $c_{ij}^{(k)}$ матрицы $C^{(k)}$. По пути ранга, не большего k, из вершины v_i в вершину v_j можно пройти следующими способами:

1) идя из вершины v_i в вершину v_i по некоторому пути ранга, не превосходящего $k-1$, т. е. минуя вершину v_k;

2) сначала идя из v_i в v_k по пути ранга, не большего $k-1$, затем «покрутившись» любое число раз (а может быть, и ни разу) по какому-либо контуру или любому замкнутому пути из v_k в v_k ранга, не большего $k-1$, и, наконец, идя из вершины v_k в вершину v_j по пути ранга, не большего $k-1$. [8].

При 1-м способе следования стоимость прохождения из вершины v_i в v_j по всем путям ранга составит $c_{ij}^{(k-1)}$.

При втором способе следования стоимость прохождения из v_i в v_k по всем путям ранга, не большего $k-1$, будет равна $c_{ik}^{(k-1)}$. Стоимость прохождения из v_k в v_k по всем замкнутым путям ранга, не большего $k-1$, составит $(c_{kk}^{(k-1)})^*$.

Стоимость прохождения из вершины v_k в вершину v_j по пути ранга, не большего $k-1$, равна $c_{kj}^{(k-1)}$. Стоимость прохождения по пути ранга, не большего k, при указанном способе следования составит $c_{ik}^{(k-1)}\,(c_{kk}^{(k-1)})^*\,c_{kj}^{(k-1)}$. Таким образом, «поход» из v_i в v_j по путям ранга, не большего k, приводит к следующей формуле для вычисления элемента матрицы $C^{(k)}$:

$$c_{ij}^{(k)} = c_{ij}^{(k-1)} + c_{ik}^{(k-1)}\,(c_{kk}^{(k-1)})^*\,c_{kj}^{(k-1)}. \quad (1)$$

Элементы матрицы $C^{(0)}$ имеют следующий вид:

$$c_{ij}^{(0)} = \begin{cases} a_{ij}, & \text{if } \ i \neq j; \\ \mathbf{1} + a_{ii}, & \text{if } \ i = j. \end{cases} \quad (2)$$

Тогда матрицу стоимостей $C = A^*$ можно найти, вычисляя последовательно матрицы $C^{(k)}$, $k = \overline{0,n}$, по формулам (1) и (2) [8].

Предложенный авторами методический подход к моделированию сетевой структуры цепей поставок может быть использован при построении информационного обеспечения управления цепями поставок. По сути, сформированная информационная система с физическим внедрением цифровых датчиков будет являться цифровым близнецом для исследуемой логистической системы.

Данные методы моделирования сетевой структуры цепей поставок с целью исследования их универсальности проходят практическую апробацию на практике для различных объектах исследования — производственном предприятии «Чулочно-носочная фабрика Уральская», международной логистической компании Global Trade Consulting и сети розничной торговли детскими товарами GINGA. Авторами уже были получены первые результаты при моделировании непрерывного обеспечения сырьем производственного процесса.

Обсуждение

В настоящее время особенно активно цифровые технологии внедряются на морском транспорте. Это объясняется тем, что многие сегменты судоходной отрасли имеют ограниченную маржу, а цифровизация позволяет повысить конкурентное преимущество. Например, компания компания CMA CGM, одна из крупнейших в мире по объему морских перевозок, переводит свои услуги на цифровую платформу Freightos, что позволит клиентам получать доступ к информации о ценах, маршрутах, наличии провозных способностей. В перспективе сервис грузовых перевозок на ключевых торговых линиях будет функционировать в режиме пассажирских линий, когда клиенты смогут забронировать любую услугу в режиме онлайн практически мгновенно [13].

«В число приоритетных направлений применения блокчейн для транспортной логистики входит перевод в цифровой формат транзакций, которые в настоящее время фиксируются на бумажных носителях. Например, в морских перевозках, как правило, используют бумажные коносаменты (Bill of Landing). По оценкам экспертов, расходы на обработку документов и транзакций достигают 20 % от общих затрат на транспортировку» [13].

При внедрении технологии блокчейн в цепи поставок будут обеспечены следующие возможности:

– отслеживание продукта от места его производства до конечного потребителя, защиту покупателе продукции от неоригинальных товаров и обмана;

– рассредоточение, которое дает возможность всем элементам процесса поставки принимать участие в реальном времени: отслеживание передвижения транспорта или приобретенных товаров, оформление необходимого пакета документов в форме смарт-контрактов, уничтожение незаконных элементов в процессе поставки;

– безопасность посредством использования криптографии и отсутствия возможности внесения элементами изменений в процесс поставки [14].

Концепция цифрового близнеца в реальном времени может быть инновацией, которая позволит динамически моделировать в реальном времени и оптимизировать процесс, прежде чем потребуются какие-либо реальные изменения для минимизации риска изменения цепочки поставок. Внедрение данной цифровой концепции может дать следующие преимущества:

– мониторинг процессов и показателей в реальном времени;

– непрерывная оценка для оптимизации и ситуационной осведомленности;

– быстрое построение прототипов и их проверка;

– беспристрастное принятие решений на основании алгоритмов.

Эти потенциальные преимущества цифрового двойника на практике могут привести к улучшению производительности, снижению стоимости товаров или услуг, повышению стабильности качества, снижению сроков операций и доставки, оптимизации запасов [3]. Также, если исходить из концепции зеленой логистики, то снизится потребление энергии и воздействия на окружающую среду.

В своей работе «Симбиоз цифровых и экологических технологий в логистике» В. В. Борисова говорит о необходимости направить модернизацию логистических процессов и систем управления цепями поставок в экологическое русло [5]. Несомненно, данные процессы не только возможно, но и необходимо учесть на этапе моделирования логистических систем.

Выводы

Построение качественных универсальных моделей в цепях поставок может ускорить взаимодействие между всеми участниками цепей поставок, упростить процессы транспортировки, контроля, принятия решений в нештатных ситуациях, решение оптимизационных задач. В конечном итоге все это снизит логистические издержки, заложенные в себестоимость продукта для потребителя. Однако уже на этапе моделирования необходимо учитывать принципы зеленой логистики для сохранения экосистемы на планете, вопросы безопасности хранения и передачи данных компаний и частных лиц, возможности альтернативного (ручного) управления процессами в случае сбоя информационных систем, без которых часто невозможно управление процессами с большими данными.

Библиографический список

1. *Сизов, П. Л.* Методический подход к построению информационной системы управления цепями поставок // Сборник УрГЭУ. — 2018.

2. *Самойлова, А. Г.* Логистика. — Новополоцк, 2014.

3. *Murrey, M.* What Is Supply Chain And Logistics Network Modeling? [Электронный ресурс]. — Режим доступа : https://www.thebalancesmb.com.

4. *Ковалев, М. Н.* Моделирование цепей поставок в промышленности // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. — 2014. — № 1.

5. *Борисова, В. В.* Симбиоз цифровых и экологических технологий в логистике // Вестник РГЭУ (РИНХ). — 2017.

6. *Асанов, М. О., Баранский, В. А., Расин, В. В.* Дискретная математика: графы, матроиды, алгоритмы. — Ижевск, 2001.

7. Алгоритмы на графах [Электронный ресурс]. — Режим доступа : https://habr.com/ru/post/119158.

8. Алгоритмы на графах [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://mathhelpplanet.com.

9. *Уразалиев, Н. С., Ханова, А. А., Тумпуров, В. С.* Концептуальная структура имитационной модели логистических процессов управления ремонтами предприятия электрических сетей // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. — 2018. — № 2.

10. *Szymonik, A.* Logistics and supply chain management. — Warsaw, 2012.

11. *Gezgin, E., Xin Huang, Prakash Samal.* Digital transformation [Электронный ресурс]. — Режим доступа : https://www.mckinsey.com.

12. *Кутузов, О. И., Татарникова, Т. М.* Общее в подходе к имитационному моделированию информационных и транспортных сетей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2019. — № 5. — Т. 19.

13. *Ларин, О. Н., Буш, Ю.Д.* Основные приоритеты цифровизации транспорта в логистике // Модернизация России: приоритеты, проблемы, решения : сб. трудов конф. — М., 2018. — С. 525–527.

14. *Лысенко, Ю. В., Лысенко, М. В., Гарипов, Р. И.* Блокчейн в логистике // Азимут научных исследований: экономика и управление. — 2019. — № 3. — Т. 8.

15. *Akopova, E. S., Przhedetskaya, N. V., Borzenko, K. V.* Marketing and logistic perspectives of development in modern Russia's foreign economic activities // International Journal of Economic Perspectives. — 2016. — № 10 (4). — P. 416–421.

16. *Akopova, E. S., Przhedetskiy, Yu. V., Przhedetskaya, N. V., Borzenko, K. V.* Marketing of Healthcare Organizations: Technologies of Public-Private Partnership. — 2020. — P. 89–97.

17. *Сизов, П. Л., Хмельницкая, З. Б.* Проблемы построения информационного обеспечения сетевой структуры цепей поставок // Экономика и предпринимательство. — 2019. — № 8 (109). — С. 1159–1163.

18. Понятие о сетевой структуре цепей поставок [Электронный ресурс]. — Режим доступа : https://helpiks.org.

Bibliographic list

1. *Sizov, P. L.* Methodical approach to construction of information system for managing supply chains. — 2018.

2. *Samoilova, A. G.* Logistic. — Novopolotsk, 2014.

3. *Murray, M.* What Is Supply Chain And Logistics Network Modeling? [Electronic resource]. — Mode of access : https://www.thebalancesmb.com.

4. *Kovalev, M. N.* Modeling of supply chains in industry // Bulletin of Sukhoi State Technical University. — 2014. — № 1.

5. *Borisova, V. V.* Symbiosis of digital and environmental technologies in logistics // Vestnik of RSUE (RINH). — 2017.

6. *Asanov, M. O., Baransky, V. A., Rasin, V. V.* Discrete mathematics: graphs matroids, algorithms. — Izhevsk, 2001.

7. Algorithms on graphs [Electronic resource]. — Mode of access : https://habr.com/ru/post/119158.

8. Algorithms on graphs [Electronic resource]. — Mode of access : http://mathhelpplanet.com.

9. *Urazaliev, N. S., Khanova, A. A., Tumpurov, V. S.* Conceptual structure of the simulation model of logistics processes for managing repairs of electric grid enterprise // Bulletin of ASTU. Ser.: Management, computer engineering and Informatics. — 2018. — № 2.

10. *Szymonik, A.* Logistics and supply chain management. — Warsaw, 2012.

11. *Gezgin, E., Xin Huang, Prakash Samal.* Digital transformation [Electronic resource]. — Mode of access : https:// www.mckinsey.com.

12. *Kutuzov, O. I., Tatarnikova, T. M.* General in approach to simulation modeling of information and transport networks // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. — 2019. — № 5. — Vol. 19.

13. *Larin, O. N., Bush, J. D.* Main priorities of digitalization of transportation logistics // Modernization of Russia: priorities, problems and solutions : proceedings of conference. — M., 2018. — P. 525–527.

14. *Lysenko, Y. V., Lysenko, M. V., Garipov, R. I.* Blockchain in logistics // Azimut of scientific research: Economics and management. — 2019. — № 3. — Vol. 8.

15. *Akopova, E. S., Przhedetskaya, N. V., Borzenko, V. K.* Marketing and logistic perspectives of development in modern Russia's foreign economic activities // International Journal of Economic Perspectives. — 2016 — № 10 (4). — P. 416–421.

16. *Akopova, E. S., Przhedetskiy, Yu. V., Przhedetskaya, N. V., Borzenko, V. K.* Marketing of Healthcare Organizations: Technologies of Public-Private Partnership. — 2020. — P. 89–97.

17. *Sizov, P. L., Khmelnitskaya, Z. B.* Problems of building information support for network structure of supply chains. — 2019. — № 8 (109). — P. 1159–1163.

18. Concept of network structure of supply chains [Electronic resource]. — Mode of access : https://helpiks.org.