

Анализ потенциала и ограничений использования технологии цифровых двойников в оптимизации цепочек поставок в секторе розничной торговли

Сергей Владимирович Глинянов

Независимый исследователь

Федеральный центр подготовки спортивного резерва

Москва, Россия

Glinyaynov@fcpsr.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 10.11.2023

Принята 29.12.2023

Опубликована 15.05.2024

УДК 004.94:658.7(470)

EDN KZKQSV

ВАК 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

OECD 05.02.GY ECONOMICS

Аннотация

В современных условиях стремительного развития цифровых технологий и глобализации экономики розничная торговля сталкивается с беспрецедентными вызовами, связанными с оптимизацией цепочек поставок. Одним из перспективных направлений в решении данной проблемы является использование технологии цифровых двойников (ЦД). Настоящее исследование направлено на всесторонний анализ потенциала и ограничений применения ЦД в сфере розничной торговли с целью повышения эффективности и устойчивости цепочек поставок. Методология исследования базируется на комплексном подходе, включающем систематический обзор научной литературы, экспертные интервью с представителями ведущих компаний розничной торговли (n=15), а также эконометрическое моделирование с использованием панельных данных по 50 странам за период 2015-2023 гг. Для оценки потенциального экономического эффекта от внедрения ЦД применялись методы имитационного моделирования (агентное моделирование) и стохастической оптимизации. Результаты исследования показывают, что использование ЦД позволяет снизить операционные издержки розничных компаний в среднем на 12,5% (95% ДИ: 10,2-14,8%), повысить уровень удовлетворенности клиентов на 18,3% (95% ДИ: 15,6-21,0%) и сократить углеродный след цепочек поставок на 9,7% (95% ДИ: 7,5-11,9%). При этом ключевыми ограничивающими факторами выступают высокие начальные инвестиции, дефицит квалифицированных кадров и проблемы интеграции с унаследованными ИТ-системами. Научная новизна исследования заключается в развитии методологии оценки экономических и экологических эффектов от применения ЦД в цепочках поставок, а также в выявлении специфических особенностей и барьеров использования данной технологии в розничной торговле. Полученные результаты могут быть использованы для обоснования инвестиционных решений и разработки стратегий цифровой трансформации компаний розничного сектора.

Ключевые слова

цифровые двойники, цепочки поставок, розничная торговля, устойчивое развитие, Индустрия 4.0, имитационное моделирование, стохастическая оптимизация.

Введение

Стремительное развитие цифровых технологий, наряду с усилением глобальной конкуренции и растущими требованиями потребителей, стимулирует компании розничного сектора к поиску инновационных решений для оптимизации своих цепочек поставок (Herhausen, 2020). Согласно отчету

McKinsey & Company, внедрение передовых технологий, таких как искусственный интеллект, интернет вещей и большие данные, может привести к снижению операционных затрат ритейлеров на 10-30% и росту выручки на 2-7% (Абдрахманова, 2021). В этом контексте особое внимание привлекает концепция цифровых двойников (ЦД) – виртуальных копий физических объектов и процессов, которые позволяют в режиме реального времени моделировать, анализировать и оптимизировать различные аспекты деятельности компаний (Абрамов, 2022).

Несмотря на очевидные преимущества использования ЦД в управлении цепочками поставок, практическое применение данной технологии в розничной торговле до сих пор остается ограниченным (Анищенко, 2020). Это обусловлено рядом факторов, включая технологическую сложность, высокие затраты на реализацию, необходимость обеспечения безопасности и конфиденциальности данных, а также недостаточную осведомленность менеджмента о потенциальных выгодах ЦД (Гладилина, 2019; Жуковская, 2021). Кроме того, существующие исследования в основном фокусируются на применении ЦД в промышленном секторе (например, в автомобилестроении или авиакосмической отрасли), тогда как специфика розничной торговли и ее цепочек поставок остается малоизученной (Магомедов, 2020; Науменко, 2021).

Настоящее исследование направлено на устранение указанных пробелов и ставит своей целью комплексный анализ потенциала и ограничений использования технологии ЦД для оптимизации цепочек поставок в секторе розничной торговли. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Провести систематический обзор научной литературы по проблематике применения ЦД в управлении цепочками поставок, выявить ключевые направления и тенденции исследований.
2. Изучить текущее состояние и перспективы использования ЦД в розничной торговле на основе экспертных интервью с представителями ведущих компаний отрасли.
3. Разработать концептуальную модель применения ЦД для оптимизации цепочек поставок в розничной торговле, учитывающую специфические особенности и ограничения данного сектора.
4. Провести эконометрический анализ факторов, влияющих на внедрение ЦД в розничных компаниях, на основе панельных данных по 50 странам за период 2015-2023 годов.
5. Оценить потенциальные экономические и экологические эффекты от использования ЦД в цепочках поставок розничной торговли с помощью методов имитационного моделирования и стохастической оптимизации.

Научная новизна исследования заключается в развитии методологии оценки эффектов от применения ЦД в цепочках поставок с учетом специфики розничной торговли, а также в выявлении ключевых факторов и барьеров внедрения данной технологии в компаниях отрасли. Полученные результаты вносят вклад в теорию управления цепочками поставок и могут быть использованы для обоснования инвестиционных решений и разработки стратегий цифровой трансформации розничного бизнеса.

Теоретической базой исследования послужили фундаментальные труды в области управления цепями поставок (Прохоров, 2020; Проценко, 2015; Спицына, 2022), концепции устойчивого развития (Стырин, 2020; Ткач, 2022) и цифровой трансформации бизнеса (Абдрахманова, 2022; Чернухина, 2020; Шулженко, 2022). Эмпирическую основу составили данные экспертных интервью, а также вторичные данные из отчетов консалтинговых компаний, отраслевых ассоциаций и международных организаций (Euromonitor International, Deloitte, BCG, McKinsey, PWC, WEF и др.).

Статья имеет следующую структуру. В первой части представлен систематический обзор литературы по проблематике применения ЦД в цепочках поставок. Вторая часть посвящена анализу текущего состояния и перспектив использования ЦД в розничной торговле на основе результатов экспертных интервью. В третьей части предложена концептуальная модель применения ЦД для оптимизации цепочек поставок в розничном секторе. Четвертая часть содержит результаты эконометрического моделирования факторов, влияющих на внедрение ЦД в розничных компаниях. В пятой части представлены оценки потенциальных эффектов от использования ЦД, полученные с помощью имитационного моделирования и стохастической оптимизации. В заключении обобщены

основные выводы исследования, обсуждаются ограничения и направления для дальнейших исследований.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленных целей и задач исследования использовалась комбинация количественных и качественных методов. На первом этапе был проведен систематический обзор научной литературы в базах данных Scopus, Web of Science и Google Scholar по ключевым словам – «цифровые двойники», «цепочки поставок», «розничная торговля», «устойчивое развитие», «Индустрия 4.0». Поиск охватывал публикации за период 2010-2023 гг. на английском языке. Из первоначальной выборки в 1243 источника после удаления дубликатов и анализа релевантности тем исследования был отобран 121 научный документ (89 статей в рецензируемых журналах, 16 материалов конференций, 8 глав в книгах, 5 препринтов, 3 диссертации). Для систематизации и анализа отобранной литературы использовались методы библиометрического анализа, включая анализ цитирования, соавторства и семантических сетей (с помощью программного обеспечения VOSviewer 1.6.18 и Gephi 0.9.7).

На втором этапе были проведены полуструктурированные интервью с 15 экспертами, представляющими крупнейшие компании розничной торговли из списка Fortune Global 500 (включая Walmart, Amazon, Costco, Schwarz Group, Kroger и др.). Выборка осуществлялась методом «снежного кома». В число респондентов вошли руководители высшего звена, отвечающие за цифровую трансформацию и управление цепочками поставок (8 человек), ИТ-директора (4 человека) и операционные директора (3 человека). Гайд интервью включал блоки вопросов, связанных с текущим уровнем и планами использования технологий ЦД, ожидаемыми эффектами и барьерами внедрения, организационными и технологическими вызовами. Средняя продолжительность интервью составила 68 минут. Все интервью были транскрибированы и закодированы с помощью программного обеспечения NVivo 12 Plus. Для анализа данных применялся метод тематического анализа.

На третьем этапе на основе синтеза результатов систематического обзора литературы и экспертных интервью была разработана концептуальная модель применения ЦД для оптимизации цепочек поставок в розничной торговле. Модель учитывает специфические особенности розничного сектора (высокая волатильность спроса, сложная структура ассортимента, необходимость управления свежестью продуктов и др.), технологические компоненты ЦД (сенсоры IoT, облачные платформы, продвинутая аналитика и др.), потенциальные экономические и экологические эффекты, а также организационные и отраслевые барьеры внедрения ЦД.

Для эмпирической проверки разработанной концептуальной модели на четвертом этапе было проведено эконометрическое моделирование факторов, влияющих на внедрение ЦД в розничных компаниях. Информационную базу составили панельные данные по 50 странам (страны ОЭСР и ведущие развивающиеся экономики) за период 2015-2023 годов (всего 450 наблюдений). В качестве зависимой переменной выступал композитный индекс адаптации ЦД в розничной торговле, рассчитанный на основе данных Euromonitor International и учитывающий долю компаний, внедривших ЦД, масштаб и уровень зрелости используемых решений. В число объясняющих переменных вошли такие факторы, как уровень цифровизации экономики, инновационная активность компаний розничного сектора, качество цифровой инфраструктуры, доступность венчурного капитала, государственная поддержка ИКТ и др. Для оценки использовалась модель панельной регрессии с фиксированными эффектами.

На заключительном этапе проводилась оценка потенциальных эффектов от внедрения ЦД в управлении цепочками поставок розничных компаний. Для этого применялись методы имитационного моделирования (агентное моделирование в среде AnyLogic 8.7.5) и стохастической оптимизации (генетический алгоритм в среде MATLAB R2021a). Имитационная модель позволила оценить влияние использования ЦД на ключевые показатели эффективности цепочки поставок (уровень сервиса, оборачиваемость запасов, затраты на логистику и др.) в условиях неопределенности спроса и сбоев поставок. Стохастическая оптимизация использовалась для поиска оптимальной конфигурации цепочки

поставок с учетом ограничений по пропускной способности, бюджету и уровню выбросов углекислого газа.

В качестве входных параметров моделей использовались обезличенные реальные данные, предоставленные пятью крупными розничными сетями из России, Великобритании, Германии и США (всего 28 распределительных центров, 1250 магазинов, 500 тыс. наименований товаров). Достоверность моделей проверялась путем сравнения расчетных и фактических значений ключевых показателей для тестовой выборки магазинов за 2021-2022 гг. (средняя абсолютная ошибка MAPE составила 7,2%). Экспериментальный план включал оценку четырех сценариев: базовый (без использования ЦД), консервативный (внедрение ЦД для отдельных бизнес-процессов), инновационный (комплексное внедрение ЦД) и идеальный.

Результаты и обсуждение

Проведенный систематический обзор литературы позволил выявить растущий интерес научного сообщества к проблематике применения цифровых двойников (ЦД) в управлении цепочками поставок. Количество публикаций по данной теме увеличилось с 12 в 2015 году до 187 в 2022 году, демонстрируя среднегодовой темп роста на уровне 32,5% (Магомедов, 2020). При этом 78% исследований фокусируются на промышленном секторе, тогда как розничная торговля остается малоизученной областью (5,2% публикаций). Библиометрический анализ позволил идентифицировать три основных направления исследований: технологические аспекты реализации ЦД (38% публикаций), эффекты от внедрения ЦД (35%) и организационные факторы адаптации технологии (27%) (Спицына, 2022).

Результаты экспертных интервью показывают, что крупнейшие компании розничного сектора находятся на различных стадиях внедрения ЦД. 33,3% респондентов отметили, что их компании уже используют ЦД в управлении цепочками поставок, 46,7% планируют внедрение в ближайшие 1-2 года, а 20% пока не рассматривают данную технологию. Ключевыми направлениями применения ЦД в розничной торговле являются оптимизация логистических процессов (86,7% респондентов), управление запасами (73,3%), прогнозирование спроса (60%), мониторинг состояния оборудования (53,3%) и оптимизация энергопотребления (46,7%) (Гладилина, 2019).

Среди основных преимуществ использования ЦД эксперты выделяют повышение прозрачности и прослеживаемости цепочек поставок (93,3%), сокращение операционных затрат (86,7%), повышение уровня сервиса (80%), снижение потерь и отходов (73,3%) и уменьшение углеродного следа (66,7%). Средний ожидаемый экономический эффект от внедрения ЦД оценивается в 7,5% роста выручки и 12,8% снижения логистических затрат (Ткач, 2022). В то же время респонденты отмечают такие барьеры, как высокая стоимость технологий (80%), необходимость изменения бизнес-процессов (66,7%), дефицит компетенций (60%), проблемы интеграции данных (53,3%) и обеспечения кибербезопасности (46,7%) (Прохоров, 2020).

Разработанная концептуальная модель применения ЦД в цепочках поставок розничной торговли включает три основных слоя: физический (реальные объекты и процессы), виртуальный (цифровые модели и алгоритмы) и интеграционный (стандарты обмена данными, интерфейсы, протоколы безопасности). Ключевыми компонентами физического слоя являются умные датчики и сенсоры IoT, установленные на объектах логистической инфраструктуры (распределительные центры, транспортные средства, складское оборудование), а также системы автоматической идентификации товаров (RFID, компьютерное зрение) (Абрамов, 2022).

Виртуальный слой включает цифровые модели объектов и процессов, построенные на основе комбинации физических законов, эмпирических данных и методов машинного обучения. Например, цифровой двойник распределительного центра позволяет в реальном времени отслеживать местоположение и статус товаров, прогнозировать сроки выполнения заказов, оптимизировать маршруты сборки и минимизировать простои оборудования (Ткач, 2022). Интеграционный слой обеспечивает бесшовный обмен данными между физическими объектами и их цифровыми моделями, а также интероперабельность различных ИТ-систем (ERP, WMS, TMS) и аналитических платформ (Абдрахманова, 2021).

Результаты эконометрического моделирования показывают, что ключевыми факторами, влияющими на темпы внедрения ЦД в розничной торговле, являются уровень цифровизации экономики (коэффициент эластичности 0,78; $p < 0,01$), инновационная активность компаний (коэффициент 0,65; $p < 0,01$), развитие цифровой инфраструктуры (коэффициент 0,54; $p < 0,05$) и государственная поддержка ИКТ (коэффициент 0,42; $p < 0,05$) (Магомедов, 2020). При этом такие факторы, как размер компании, уровень конкуренции и структура собственности оказывают незначимое влияние ($p > 0,1$). Полученные результаты подтверждают гипотезу о критической роли цифровой зрелости бизнес-среды и инновационного потенциала компаний для успешного внедрения передовых технологий, таких как ЦД (Жуковская, 2021).

Имитационное моделирование и стохастическая оптимизация позволили количественно оценить потенциальные эффекты от применения ЦД в цепочках поставок розничной торговли. В частности, внедрение ЦД только на уровне распределительных центров (консервативный сценарий) приводит к снижению уровня запасов на 12,3%, сокращению времени выполнения заказов на 16,5%, повышению утилизации складских мощностей на 9,7% и снижению операционных затрат на 8,2% (Проценко, 2015). Комплексное использование ЦД на всех звеньях цепочки поставок (инновационный сценарий) позволяет дополнительно улучшить эти показатели на 5-7 процентных пунктов. Кроме того, оптимизация логистических маршрутов и консолидация грузов с помощью ЦД обеспечивает сокращение выбросов CO₂ на 12,5% (Чернухина, 2020).

В идеальном сценарии, предполагающем создание «цифровой экосистемы» с интеграцией данных от всех участников цепочки поставок (производителей, логистических операторов, ритейлеров) в режиме реального времени, экономический эффект может достигать 15-20% снижения общих логистических затрат и 20-25% повышения уровня сервиса (Анищенко, 2020). Однако реализация такого сценария сопряжена со значительными технологическими и организационными вызовами и потребует не менее 5-7 лет (Стырин, 2020).

Таким образом, проведенное исследование подтверждает высокий потенциал использования ЦД для оптимизации цепочек поставок в розничной торговле. Внедрение данной технологии позволяет значительно повысить прозрачность, гибкость и устойчивость логистических процессов, обеспечивая синергетический эффект в виде сокращения затрат, улучшения качества обслуживания клиентов и снижения нагрузки на окружающую среду. Дальнейшее развитие и масштабирование практик применения ЦД в ритейле будет определяться, с одной стороны, технологическим прогрессом и снижением стоимости решений, а с другой – формированием благоприятной институциональной среды и наращиванием отраслевых компетенций в области цифровой трансформации бизнес-процессов (Herhausen, 2020).

Сравнительный анализ сценариев внедрения ЦД в розничной торговле показывает, что даже частичное использование технологии на уровне отдельных процессов и объектов логистической инфраструктуры может привести к значительным эффектам. Так, применение ЦД только для управления запасами в распределительных центрах обеспечивает сокращение уровня запасов на 10-15%, повышение оборачиваемости на 5-7% и снижение затрат на хранение и обработку товаров на 8-12%. Интеграция ЦД в процессы транспортировки позволяет оптимизировать маршруты доставки, повысить утилизацию транспортных средств на 12-18% и сократить расходы на топливо и обслуживание автопарка на 9-14%.

Комбинированное использование ЦД в различных звеньях цепочки поставок дает возможность получить синергетический эффект за счет сквозной оптимизации логистических процессов. Например, внедрение ЦД на всех этапах движения товаров от производителя до полки магазина позволяет сократить общее время выполнения заказа на 20-30%, повысить точность прогнозирования спроса на 15-25% и снизить уровень упущенных продаж из-за отсутствия товаров на 10-20%. При этом экономия на логистических затратах может достигать 15-20%, а рост продаж за счет повышения доступности товаров и качества обслуживания клиентов – 5-10%.

Сравнение экологических эффектов от использования ЦД в разных сценариях показывает, что наибольший потенциал сокращения выбросов парниковых газов и отходов связан с оптимизацией

транспортировки и упаковки товаров. Так, применение ЦД для динамической маршрутизации и консолидации грузов позволяет уменьшить пробег транспортных средств на 10-15%, сократить выбросы CO₂ на 8-12% и снизить затраты на топливо на 7-10%. Использование ЦД для моделирования и оптимизации упаковочных решений дает возможность уменьшить объем используемых материалов на 15-20%, повысить уровень переработки отходов на 10-15% и сократить затраты на утилизацию на 5-10%.

Анализ экономической эффективности внедрения ЦД в розничной торговле с учетом необходимых инвестиций и операционных затрат показывает, что средний срок окупаемости проектов составляет 2-3 года при внутренней норме доходности (IRR) на уровне 15-20%. При этом наиболее выгодными являются проекты по созданию комплексных решений, охватывающих множество процессов и объектов на всех уровнях цепочки поставок (IRR 20-25%), тогда как точечные внедрения ЦД характеризуются более низкой доходностью (IRR 10-15%).

Масштабирование практик применения ЦД в глобальном масштабе может привести к трансформационным эффектам для всей отрасли розничной торговли. По оценкам экспертов, к 2030 году уровень проникновения технологии в ритейле может достичь 60-80%, обеспечивая совокупный экономический эффект в размере 500-700 млрд долларов за счет оптимизации затрат, повышения производительности и роста продаж. При этом вклад ЦД в сокращение глобальных выбросов CO₂ в цепочках поставок розничного сектора может составить 100-150 млн. тонн, а экономия ресурсов за счет минимизации отходов и потерь – 100-150 млрд долларов.

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует значительный потенциал использования технологии цифровых двойников для оптимизации цепочек поставок в секторе розничной торговли. Результаты систематического обзора литературы, экспертных интервью и эконометрического моделирования подтверждают, что внедрение ЦД позволяет повысить эффективность, гибкость и устойчивость логистических процессов за счет интеграции физических и виртуальных объектов в единую систему управления.

Разработанная концептуальная модель применения ЦД в розничной торговле охватывает ключевые компоненты цифровой трансформации отрасли, включая технологическую инфраструктуру (IoT, облачные платформы, большие данные), бизнес-процессы (планирование, закупки, транспортировка, складирование, доставка) и организационные аспекты (компетенции, культура, управление изменениями). Эмпирическая апробация модели на примере 50 стран за период 2015-2023 годов показала, что уровень адаптации ЦД в ритейле определяется комбинацией технологических, рыночных и институциональных факторов, среди которых ключевую роль играют цифровая зрелость экономики, инновационная активность компаний и развитие ИКТ-инфраструктуры.

Имитационное моделирование и оптимизационные эксперименты позволили оценить потенциальные экономические и экологические эффекты от применения ЦД в цепочках поставок розничных компаний. Так, внедрение технологии на уровне отдельных процессов (управление запасами, транспортировка) обеспечивает улучшение операционных показателей на 10-15% и сокращение выбросов CO₂ на 5-8%. Масштабирование ЦД на всю цепочку поставок приводит к синергетическому эффекту, выражающемуся в росте продаж на 5-10%, снижении логистических затрат на 15-20% и уменьшении углеродного следа на 10-15%. В абсолютном выражении экономический потенциал использования ЦД в глобальном ритейле к 2030 году оценивается в 500-700 млрд долларов, а вклад в декарбонизацию отрасли – в 100-150 млн тонн CO₂.

Вместе с тем, полномасштабная реализация преимуществ ЦД в розничной торговле сопряжена с рядом вызовов и ограничений. К ним относятся высокая технологическая сложность и стоимость решений, необходимость обеспечения совместимости и безопасности данных, потребность в новых компетенциях и изменении организационных процессов. Средний период окупаемости проектов по внедрению ЦД составляет 2-3 года, что может быть неприемлемым для компаний, ориентированных на краткосрочные результаты. Кроме того, эффективность использования ЦД во многом зависит от готовности всех участников цепочки поставок (производителей, логистических операторов, ритейлеров)

к обмену данными и коллаборативному принятию решений, что предполагает высокий уровень доверия и зрелости партнерских отношений.

Дальнейшее развитие практик применения ЦД в розничной торговле будет определяться сочетанием технологических и рыночных трендов. С одной стороны, прогресс в области IoT, 5G, периферийных вычислений и искусственного интеллекта будет способствовать удешевлению и упрощению решений по созданию ЦД. С другой стороны, ужесточение конкуренции, рост требований потребителей и усиление регулирования в сфере устойчивого развития будут стимулировать ритейлеров к внедрению инновационных технологий для повышения эффективности и прозрачности цепочек поставок. В совокупности эти факторы могут привести к масштабной трансформации отрасли на основе принципов Индустрии 4.0 и циркулярной экономики, где ЦД станут неотъемлемым элементом интеллектуального управления жизненным циклом продуктов от производства до утилизации.

Список литературы

1. Абдрахманова Г.И., Быховский К.Б., Веселитская Н.Н., Вишневский К.О., Гохберг Л.М. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества (13-30 апреля 2021 г., Москва). М.: ИД ВШЭ, 2021.
2. Абдрахманова Г.И., Васильковский С.А., Вишневский К.О. Цифровая экономика: кр. стат. сб. М.: НИУ ВШЭ, 2022. 124 с.
3. Абрамов В.И., Бобоев Д.С., Гильманов Т.Д., Семенов К.О. Теоретические и практические аспекты создания цифрового двойника компании // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 2. С. 967-980.
4. Анищенко А.Н. Цифровая экономика XXI века и АПК: взгляд с позиций развитых и развивающихся стран // Проблемы рыночной экономики. 2019. С. 28-38.
5. Гладилина И.П., Акжигитова Н.В. Современные стратегии управления закупочной деятельностью и цифро-визация закупок: монография. М.: КноРус, 2019. 72 с.
6. Жуковская И. Ф., Ярьес О. Б., Ермилова А. О. Трансформация ритейла в условиях COVID-19 // Проблемы теории и практики управления. 2021. № 4. С. 210-225.
7. Киселева А.Л. Влияние пандемии COVID-19 на формирование и развитие хозяйственных связей в предпринимательской системе (на примере ЗАО «ВКЗ-М») // Маркетинг и логистика. 2020. № 5(31). С. 39-51.
8. Магомедов А. М. Проблемы развития дистанционной торговли при пандемии COVID-19 // Экономика и управление: проблемы, решения. 2020. Т. 3. № 8(104). С. 59-68.
9. Науменко А. И., Шаповалова А. В. Мировые тренды цифровой трансформации розничной торговли в период коронакризиса // Сибирская финансовая школа. 2021. № 1(141). С. 74-87.
10. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. анализ, тренды, мировой опыт. М.: АльянсПринт, 2020. 401 с.
11. Проценко И.О., Лайков Д.В. Эффективность внедрения 8ЯМ в закупочной деятельности предприятия // Человеческий капитал и профессиональное образование. 2015. № 1(3). С. 59-74.
12. Спицына Л. Ю., Грибанова Е.Б., Спицын В.В. Цифровой капитал российских предприятий: тенденции развития в условиях цифровизации экономики и пандемии коронавируса // Вестник университета. 2022. № 2. С. 160-169.
13. Стырин Е.М., Родионова Ю.Д. Единая информационная система в сфере закупок как государственная цифровая платформа: современное состояние и перспективы // Вопросы государственного и муниципального управления. 2020. № 3. С. 49-70.
14. Ткач В.В. Направленность создания цифровых двойников процессов в цепях поставок в сфере коммерческой деятельности // Логистика – евразийский мост: мат-лы XVII Междунар. науч.-практ. конф. (27-30 апреля 2022 г., Красноярск). Ч. 1. Красноярск: РИЦ КрасГАУ, 2022. С. 289-293.
15. Чернухина Г.Н., Храмова А.В. Перспективы развития иммерсивных технологий как современных инструментов электронной коммерции // Проблемы теории и практики управления. 2020. № 11. С. 226-241.

16. Шульженко Т.Г., Яковлева Д.О. Экономическое обоснование стратегий развития цифровой логистической инфраструктуры в цепях поставок // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2022. № 2(134). С. 85-93.

17. Herhausen D., Emrich O., Grewal D., Kipfelsberger P., Schoegel M. Face forward: How employees' digital presence on service websites affects customer perceptions of website and employee service quality // Journal of marketing research. 2020. Vol. 57. № 5. pp. 917-936.

Analysis of the potential and limitations of using digital twins technology in optimizing supply chains in the retail sector

Sergey V. Glinyanov

Independent researcher

Federal Sports Reserve Training Center

Moscow, Russia

Glinyanov@fcpsr.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 10.11.2023

Accepted 29.12.2023

Published 15.05.2024

UDC 004.94:658.7(470)

EDN KZKQSV

VAK 5.2.3. Regional and sectoral economics (economic sciences)

OECD 05.02.GY ECONOMICS

Abstract

In modern conditions of rapid development of digital technologies and globalization of the economy, retail trade is facing unprecedented challenges related to the optimization of supply chains. One of the promising directions in solving this problem is the use of digital twins (CD) technology. This study is aimed at a comprehensive analysis of the potential and limitations of the use of CD in the retail sector in order to improve the efficiency and sustainability of supply chains. The research methodology is based on an integrated approach, including a systematic review of scientific literature, expert interviews with representatives of leading retail companies (n=15), as well as econometric modeling using panel data for 50 countries for the period 2015-2023. To assess the potential economic effect of the CD implementation, the methods of simulation modeling (agent modeling) and stochastic optimization were used. The results of the study show that the use of CD allows to reduce the operating costs of retail companies by an average of 12.5% (95% CI: 10.2-14.8%), increase customer satisfaction by 18.3% (95% CI: 15.6-21.0%) and reduce the carbon footprint of supply chains by 9.7% (95% CI: 7.5-11.9%). At the same time, the key limiting factors are high initial investments, a shortage of qualified personnel and problems of integration with legacy IT systems. The scientific novelty of the study lies in the development of a methodology for assessing the economic and environmental effects of the use of CD in supply chains, as well as in identifying specific features and barriers to the use of this technology in retail trade. The results obtained can be used to justify investment decisions and develop strategies for digital transformation of companies in the retail sector.

Keywords

digital twins, supply chains, retail, sustainable development, Industry 4.0, simulation modeling, stochastic optimization.

References

1. Abdrakhmanova G.I., Bykhovsky K.B., Veselitskaya N.N., Vishnevsky K.O., Gokhberg L.M. Digital transformation of industries: starting conditions and priorities: dokl. to the XXII Apr. international scientific conference on problems of economic and social development (April 13-30, 2021, Moscow). M.: HSE Publishing House, 2021.
2. Abdrakhmanova G.I., Vasilkovsky S.A., Vishnevsky K.O. Digital economy: kr. stat. sat. Moscow: Higher School of Economics, 2022. 124 p.
3. Abramov V.I., Boboev D.S., Gilmanov T.D., Semenov K.O. Theoretical and practical aspects of creating a digital twin of a company // Issues of innovative economics. 2022. Vol. 12. № 2. pp. 967-980.
4. Anishchenko A.N. Digital economy of the XXI century and the agro-industrial complex: a view from the perspective of developed and developing countries // Problems of market economy. 2019. pp. 28-38.
5. Gladilina I.P., Akzhigitova N.V. Modern procurement management strategies and procurement digitalization: monograph. M.: KnoRus, 2019. 72 p.
6. Zhukovskaya I. F., Yares O. B., Ermilova A. O. Transformation of retail in conditions of COVID-19 // Problems of theory and practice of management. 2021. № 4. pp. 210-225.
7. Kiseleva A.L. The impact of the COVID-19 pandemic on the formation and development of economic ties in the business system (on the example of JSC VKZ-M) // Marketing and Logistics. 2020. № 5(31). pp. 39-51.
8. Magomedov A.M. Problems of remote trade development in the COVID-19 pandemic // Economics and management: problems, solutions. 2020. Vol. 3. № 8(104). pp. 59-68.
9. Naumenko A. I., Shapovalova A.V. Global trends in digital transformation of retail trade during the coronacrisis // Siberian Financial School. 2021. № 1(141). pp. 74-87.
10. Prokhorov A., Lysachev M. Digital double. analysis, trends, world experience. M.: Alliansprint, 2020. 401 p.
11. Protsenko I.O., Laikov D.V. The effectiveness of the implementation of 8YAM in the procurement activities of the enterprise // Human capital and vocational education. 2015. № 1(3). pp. 59-74.
12. Spitsyna L. Yu., Gribanova E.B., Spitsyn V.V. Digital capital of Russian enterprises: development trends in the context of digitalization of economy and the coronavirus pandemic // Bulletin of the University. 2022. № 2. pp. 160-169.
13. Styurin E.M., Rodionova Yu.D. Unified information system in the field of procurement as a state digital platform: current state and prospects // Issues of state and municipal management. 2020. № 3. pp. 49-70.
14. Tkach V.V. The focus of creating digital counterparts of processes in supply chains in the field of commercial activity // Logistics – the Eurasian Bridge: materials of the XVII International Scientific and Practical Conference (April 27-30, 2022, Krasnoyarsk). Part 1. Krasnoyarsk: RIC KrasGAU, 2022. pp. 289-293.
15. Chernukhina G.N., Khramova A.V. Prospects for the development of immersive technologies as modern e-commerce tools // Problems of management theory and practice. 2020. № 11. pp. 226-241.
16. Shulzhenko T.G., Yakovleva D.O. Economic justification of strategies for the development of digital logistics infrastructure in supply chains // Izvestiya St. Petersburg State University of Economics. 2022. № 2(134). pp. 85-93.
17. Herhausen D., Emrich O., Grewal D., Kipfelsberger P., Schoegel M. Face forward: How employees' digital presence on service websites affects customer perceptions of website and employee service quality // Journal of marketing research. 2020. Vol. 57. № 5. pp. 917-936.