

УДК 656.07:004.9
МРНТИ 73.01.75

DOI: <https://doi.org/10.37788/2024-1/78-90>

С.В. Беспалый^{1*}, С.К. Тугаев¹

¹Инновационный Евразийский университет, Павлодар, Казахстан

*(e-mail: sergeybesp@mail.ru)

Технологии Индустрии 4.0 в устойчивой логистике: возможности применения в транспортных компаниях

Аннотация

Основная проблема: В настоящее время рыночная конкуренция становится все более жесткой из-за разнообразных потребностей клиентов, строгих экологических требований и глобальных конкурентов. Одним из наиболее важных факторов, позволяющих компаниям не только выжить, но и процветать на современном конкурентном рынке, является эффективность логистики. В этом исследовании рассматриваются технологии Индустрии 4.0, открывающие возможности для повышения экономической эффективности, экологических показателей и социального воздействия логистических секторов. Однако в ходе этой технологической трансформации возникает ряд проблем, а именно: компромисс между различными показателями устойчивости, неясные выгоды, воздействие на окружающую среду в течение жизненного цикла, проблемы неравенства и зрелость технологий. Основное внимание в исследованиях уделяется общим вопросам устойчивого развития и цепочки поставок, связанным с Индустрией 4.0. Однако по-прежнему отсутствует систематический анализ, направленный на объединение устойчивой логистики с различными технологиями Индустрии 4.0.

Цель: Проведение систематического анализа по выявлению и обоснованию использования технологий Индустрии 4.0 для использования транспортными компаниями, помогающие формировать не только устойчивую практику предприятий, но и создавать имидж социально ответственной компании, а также улучшать их общие устойчивые показатели в экономическом и экологическом измерениях.

Методы: Систематический обзор литературы направлен на выявление, оценку, интерпретацию и классификацию всех соответствующих статей, затрагивающих один или несколько исследовательских вопросов и тем. По сравнению с описательным исследованием литературы, результаты которого в основном сосредоточены на описательных результатах конкретной области знаний и могут страдать от систематической ошибки отбора, систематический обзор литературы представляет всесторонний обзор исследовательского ландшафта.

Результаты и их значимость: Проведенный анализ показывает то, что транспортным компаниям необходимо сосредоточить свое внимание, в том числе и для будущего развития, на балансе между различными показателями устойчивости на протяжении всего жизненного цикла, технологической трансформации, ориентированной на человека, системной интеграции и цифровых двойниках, полуавтономных транспортных решениях, интеллектуальной обратной логистике и других эффективных инструментах управления компанией.

Ключевые слова: устойчивая логистика; зеленая логистика; умные технологии; индустрия 4.0.

Введение

В условиях растущей обеспокоенности всего общества загрязнением окружающей среды, истощением ресурсов и изменением климата предприятия должны преобразовать свой бизнес и операции на более устойчивые пути [1]. Недавние исследования показали, что больший акцент и инвестиции в устойчивую практику предприятий не только помогают им создать имидж социально ответственной компании, но и улучшают их общие устойчивые показатели в экономическом и экологическом измерениях [2]. Логистика связывает различные операции и участников в цепочке поставок и является жизненно важной частью, которая во многом определяет общую эффективность компании и эффективность использования ресурсов

[3]. Управление логистической системой включает в себя несколько взаимосвязанных видов деятельности, т.е. складирование, обработку запасов, информационные услуги и транспортировку, и любые решения могут повлиять на большое количество заинтересованных сторон как положительным, так и отрицательным образом. Эффективность и устойчивость логистической системы определяют долгосрочную конкурентоспособность и успех предприятия. Поэтому как научные круги, так и промышленные практики исследуют новые методы для улучшения экономической, экологической и социальной устойчивости логистической деятельности.

Недавний технологический прогресс и инновации Индустрии 4.0 предоставили предприятиям новые возможности для создания ценности и предложения посредством оперативного и экономически эффективного удовлетворения индивидуальных потребностей клиентов. Это не только привело к изменению производственной парадигмы, но и радикально повлияло на способ логистических операций в сторону высокого уровня цифровизации, связи, интеллекта, интеграции и оперативности [4]. Несмотря на то, что Индустрия 4.0 предоставляет предприятиям новые возможности для улучшения своей практики устойчивой логистики, операционная трансформация за счет внедрения этих новых технологий, тем не менее, никогда не была безболезненной задачей, которая также может столкнуться со структурным сопротивлением как на внутри-, так и на межорганизационном уровне [5]. Таким образом, систематический анализ важен для того, чтобы выявить полезные выводы о преимуществах и проблемах внедрения новых технологий в устойчивой логистике, которые могут помочь в успешной трансформации компании в наступающую цифровую эпоху.

Предыдущие обзоры литературы предоставили всестороннее представление о планировании устойчивой логистики, практиках «зеленой» и устойчивой логистики [6], устойчивый грузовой транспорт [7] и управление знаниями в области устойчивой логистики [8]. В целях повышения интеллекта, гибкости и эффективности логистической деятельности в недавних исследованиях преобладает внедрение новых технологий, например, анализа больших данных [9], блокчейна [10], искусственного интеллекта, интеллект (ИИ) [11], Интернет вещей (IoT) и аддитивное производство [12]. Эта тенденция привела к созданию новой архитектуры Логистики 4.0. Кроме того, в нескольких недавних обзорах обсуждалась связь между Индустрией 4.0 и общими устойчивыми практиками [13,14,15].

Основное внимание в исследованиях уделяется общим вопросам устойчивого развития и цепочки поставок, связанным с Индустрией 4.0. Однако по-прежнему отсутствует систематический анализ, направленный на объединение устойчивой логистики с различными технологиями Индустрии 4.0. Логистика традиционно является трудоемкой отраслью, которая претерпевает значительные изменения в ходе цифровой трансформации, поэтому необходимо лучше понимать как положительные, так и отрицательные последствия для экономической, экологической и социальной устойчивости. Кроме того, использование как библиометрического анализа, так и контент-анализа не было использовано в полной мере. Библиометрический анализ — это количественный метод, который показывает сетевые данные о взаимосвязях различной литературы в нескольких измерениях, но он редко использовался в обзорах литературы по Индустрии 4.0 и устойчивому развитию, особенно в сочетании с контент-анализом.

Таким образом, данная статья направлена на восполнение пробела в литературе путем проведения систематического обзора литературы, чтобы проиллюстрировать текущие и будущие исследовательские ландшафты устойчивой логистики в эпоху Индустрии 4.0. Вклады суммируются следующим образом:

Используя как библиометрический анализ, так и контент-анализ, мы тщательно изучаем текущую исследовательскую среду, которая связывает устойчивую логистическую практику с различными технологиями Индустрии 4.0.

Анализируем как возможности, так и проблемы внедрения технологий Индустрии 4.0 в секторах логистики, связанных с экономической, экологической и социальной устойчивостью транспортных компаний.

Предлагаем направления исследований, чтобы заполнить текущие пробелы в исследованиях.

Материалы и методы

Систематический обзор литературы направлен на выявление, оценку, интерпретацию и классификацию всех соответствующих статей, затрагивающих один или несколько

исследовательских вопросов и тем. По сравнению с описательным исследованием литературы, результаты которого в основном сосредоточены на описательных результатах конкретной области знаний и могут страдать от систематической ошибки отбора, систематический обзор литературы представляет всесторонний обзор исследовательского ландшафта.

Систематический обзор литературы состоит из следующих этапов:

Определение вопросов исследования. Формулирование вопросов исследования, на которые необходимо ответить.

Поиск и выбор литературы. Разработка стратегии поиска документов с широким сочетанием ключевых слов для получения полного обзора исследуемой области.

Библиометрический анализ. Представление количественного анализа данных выбранной выборки статей для понимания ключевых характеристик темы.

Контент-анализ. Проведение контент-анализа выбранных статей для обобщения вклада нескольких связанных тематических областей. На основании этого можно понять текущую исследовательскую среду и определить будущие исследовательские возможности.

Вопросы исследования формулируются так, чтобы отражать цель и объем исследования. В данной статье связываются две концепции: устойчивая логистика и Индустрия 4.0, поэтому в литературе основное внимание уделяется их взаимодействию.

Результаты

Устойчивая логистика. Слово «логистика» появилось более века назад и изначально ассоциировалось с перемещением войск и военных грузов. Со временем это слово стало широко использоваться для описания перемещения физических товаров между разными местами. Логистика занимается всем циклом, включая предпроизводственную, производственную и постпроизводственную деятельность. Чтобы удовлетворить потребности клиентов на удовлетворительном уровне, логистика направлена на реализацию ряда решений, включая закупку сырья, деталей и компонентов, обработку и хранение запасов, а также транспортировку товаров из одного места в другое. Эффективность и результативность логистической системы во многом определяют показатели предприятия по затратам, удовлетворенности клиентов и прибыльности. В последнее время понятие, называемое «управление цепочками поставок», стало взаимозаменяемо использоваться для обозначения нескольких видов логистической деятельности, но объемы этих двух слов не пересекаются друг с другом. Некоторые исследователи предполагают, что управление цепочками поставок больше фокусируется на формировании стратегий управления отношениями и координации между различными партнерами, в то время как логистика, с другой стороны, подчеркивает реализацию этих стратегий для объединения различных компаний в физические потоки. В этом отношении логистику можно рассматривать как часть управления цепочками поставок, которая фокусируется на физическом перемещении товаров и соответствующем информационном потоке.

Устойчивому развитию уделяется особое внимание из-за беспокойства по поводу все более серьезных экологических и социальных проблем. Широко принятое определение устойчивого развития заключается в том, чтобы «удовлетворять потребности настоящего, не ставя под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». Устойчивое развитие определяется тремя измерениями, а именно экономическим процветанием, экологичностью и социальной справедливостью и равенством, которые также известны как тройной практический результат. Целью общества устойчивого развития является достижение гармонии между этими тремя измерениями. Для решения глобальных проблем, связанных с голодом и нищетой, здоровьем и благополучием, загрязнением окружающей среды, изменением климата и глобальным потеплением, Организация Объединенных Наций (ООН) недавно установила 17 целей устойчивого развития, которые являются призывом к действиям для достижения лучшего будущего для всех людей к 2030 году.

Резкое увеличение числа компаний начало включать принципы устойчивого развития в логистические операции, чтобы улучшить свой социальный имидж и конкурентные преимущества. Первоначально устойчивая логистика была сосредоточена на экологической перспективе снижения экологического следа, связанного с логистической деятельностью. Концепция зеленой логистики была впервые предложена для снижения воздействия на окружающую среду, например, выбросов парниковых газов, потребления энергии и т. д., посредством улучшения стратегического проектирования и оперативного планирования.

Обратная логистика и замкнутая цепочка поставок (CLSC) все больше внимания уделяют достижению устойчивого восстановления стоимости продуктов с истекшим сроком эксплуатации (EOL) и минимизации загрязнения окружающей среды в результате управления отходами. Однако ненадлежащая утилизация приводит к возникновению риска как для людей, так и для окружающей среды. Таким образом, недавние исследовательские усилия были направлены на минимизацию экологического воздействия как прямой, так и обратной логистики. Более того, в устойчивой логистике комплексно учитываются не только экономические и экологические аспекты, но и показатели социальной устойчивости, т.е. создание рабочих мест и условия труда. Таким образом, устойчивая логистика направлена на то, чтобы сбалансировать социально-экономические показатели логистической системы с ее экологической устойчивостью при управлении деятельностью системы. Этот баланс воплощается в принятии решений путем рассмотрения взаимодействия различных функций логистики, т.е. конфигурации сети, транспортировки, закупок, распределения спроса и управления ресурсами. Оптимизация устойчивой логистической системы во многом зависит от способности сбалансировать компромиссы между тремя измерениями устойчивости.

Индустрия 4.0. Индустрия 4.0, или четвертая промышленная революция, была выдвинута на Ганноверской ярмарке промышленных технологий в 2011 году с целью повышения конкурентоспособности немецкой обрабатывающей промышленности. На глобальном уровне несколько стран также запустили свои стратегии, например, Национальную сеть производственных инноваций США, Стратегию новых роботов Японии и Китайскую стратегию «Сделано в Китае 2025», направленные на укрепление своих обрабатывающих отраслей за счет использования технологических инноваций. В то время как последние три промышленные революции в истории были основными результатами механизации, массового и автоматизированного производства, Индустрия 4.0 уделяет основное внимание объединению интернет-коммуникационных технологий, цифровизации и ориентированных на будущее интеллектуальных производственных технологий, чтобы создавать интеллектуальные машины и системы, внедрять интеллектуальные процессы и предоставлять интеллектуальные продукты и услуги. Интеллектуальная производственная сеть, основанная на технологиях Индустрии 4.0, может обеспечить мониторинг в реальном времени, оперативную связь, автономные операции и бесперебойные потоки материалов. Технологический прогресс предоставил возможности и новые бизнес-модели для создания ценности и предложения на основе индивидуальной настройки и инноваций в сфере услуг. На основании предыдущих исследований 12 наиболее важных технологий Индустрии 4.0 представлены следующим образом:

- Интернет вещей (IoT): Интернет вещей - это сетевое соединение, которое, возможно, соединяет миллионы физических объектов с Интернетом. Это позволяет различным интеллектуальным устройствам соединяться между собой, контролироваться, обмениваться данными и управляться на основе стандартных протоколов связи, чтобы облегчить передачу товаров, услуг и информации.

- Киберфизическая система (CPS): CPS - это системная интеграция вычислительного интеллекта и физических элементов, которая обеспечивает эффективное взаимодействие между системой и людьми. Целью CPS является достижение высокого уровня связи, интеллекта и автоматизации за счет интеграции как кибер-, так и физических компонентов. Таким образом, уровень CPS во многом определяет успешную реализацию Индустрии 4.0.

Аналитика больших данных. Аналитика больших данных - это современные аналитические возможности для обработки большого объема динамических данных с высокой скоростью, высокой сложностью и большим разнообразием. Стратегии и деятельность компании или системы можно постоянно оценивать с помощью массивного анализа данных, чтобы получить важную информацию для лучшего бизнес-планирования и принятия решений.

Искусственный интеллект (ИИ): ИИ относится к компьютерным системам и приложениям, которые выполняют задачи, требующие человеческого интеллекта, а также обладает способностью обучаться и улучшать мышление, восприятие и действия посредством обучения на основе данных и алгоритмы. Алгоритмы искусственного интеллекта широко используются во многих областях, например, в маршрутизации, управлении трафиком, обслуживании и безопасности.

Облачные технологии: Облачные технологии обеспечивают центральную платформу для хранения и интеграции настраиваемых ресурсов информационных технологий (ИТ), которые обеспечивают доступ к данным и ресурсам из децентрализованных мест. Облачные

технологии образуют сервис-ориентированную архитектуру, которая объединяет концепции «Платформа как услуга» (PaaS), «Программное обеспечение как услуга» (SaaS) и «Информация как услуга» (IaaS).

Блокчейн: Блокчейн - это инновационный способ реализации технологий распределенного реестра, который можно запрограммировать для записи и отслеживания любых данных кем угодно без центрального органа, а также это одноранговая сеть и неразрушающий способ отслеживания изменений данных с течением времени.

Автономные роботы. Автономные роботы обладают высоким интеллектом и способны к самоорганизации, самооценке и принятию решений для выполнения нескольких задач без инструкций человека. Автономный робот может быть разных размеров и форм, с разным уровнем автономности, мобильности и интеллекта.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА): БПЛА, или обычно называемый дроном, представляет собой летающее устройство, не требующее присутствия пилота-человека на борту. Обычно он управляется с помощью дистанционного управления или с помощью комбинированного управления с компьютерным программированием.

Аддитивное производство (АП): АМ, или 3D-печать, представляет собой послойное производство или генеративное производство. Добавляя материал слой за слоем, он предоставляет возможности для точного производства предметов необходимого размера, формы и материала без каких-либо отходов. Благодаря технологической зрелости и растущему осознанию устойчивости, АМ все чаще используется в качестве основного элемента как в производственных, так и в логистических процессах.

Дополненная реальность (AR): AR в наложении сгенерированной компьютером цифровой информации, например, текстов, изображений и эффектов, в реальный мир, которая может взаимодействовать с пользователями и давать инструкции в реальном времени в удобной для пользователя форме.

Виртуальные технологии и моделирование. Виртуальные технологии - это мощные инструменты, которые могут имитировать, оценивать, оптимизировать и контролировать реальный объект или систему в ее цифровом представлении в безопасной и экономически эффективной среде.

Кибербезопасность. Под кибербезопасностью понимается защита критически важных данных, серверов и компьютеров, программного обеспечения и других ИТ-ресурсов от кибератак.

Анализ совпадения ключевых слов показал важность технологий и данных в устойчивой логистике, а контент-анализ проводится, чтобы понять, как интеллектуальные технологии и анализ данных повлияют на парадигму логистических операций и устойчивость системы. Контент-анализ - важный шаг для систематического анализа развития исследований в нескольких актуальных областях. Мы представляем подробный контент-анализ четырех основных тем, связанных с устойчивыми логистическими операциями на этапах подготовки, производства и постпроизводства. Во-первых, умное производство порождает новые модели спроса и меняет способы его удовлетворения, а, следовательно, меняет требования к закупочным и логистическим услугам. Таким образом, Индустрия 4.0 позволила обеспечить устойчивое производство и закупки. Затем были представлены интеллектуальные решения для двух наиболее важных логистических операций, а именно складирования и транспортировки. И последнее, но не менее важное: были рассмотрены общие вопросы цифровизации и системной интеграции для оптимизации различных операций в рамках устойчивой логистической системы.

Индустрия 4.0 обеспечила устойчивое производство и закупки. На все более глобализированном и динамичном рынке технологии Индустрии 4.0 играют жизненно важную роль в повышении устойчивости производственных операций, принятия решений о закупках и планирования ресурсов. Эти технологии могут обеспечить эффективный поток товаров и информации от закупки сырья до доставки продукции через открытую, динамичную, интеллектуальную и устойчивую производственно-логистическую сеть. Кроме того, они могут повлиять на возможности динамического восстановления, экологически чистого производства, сокращения отходов и переработки в устойчивой логистической системе.

Интернет вещей и автономные роботы являются фундаментальными частями интеллектуальной производственной системы, обеспечивающими высокий уровень связи и автоматизации. Системы, встроенные в Интернет вещей, могут обеспечить лучшее

отслеживание и прослеживаемость, что помогает продуктам перемещаться быстрее и предоставляет клиентам информацию о поставках в режиме реального времени. Интеграция устройств с поддержкой Интернета вещей, автономных роботов, облачной аналитики данных образует подключенную, оцифрованную и интеллектуальную производственную CPS. Эта интеллектуальная сеть как физических устройств, так и кибер-интеллекта обеспечивает эффективную межмашинную связь и взаимодействие человека с машиной, что открывает путь к автономной производственной системе с высокой гибкостью и оперативностью.

Аналізу больших данных уделяется все больше внимания в производстве и логистике. Передовые аналитические инструменты, такие как искусственный интеллект и машинное обучение, использовались для обработки большого количества сложных данных, собранных из разных источников. Результаты можно использовать для анализа рыночных тенденций, моделей закупок, потенциальных рисков, циклов обслуживания оборудования, надежности поставок и оперативности и других важных показателей эффективности, на основании чего производственная деятельность может планироваться более устойчиво.

AM можно использовать для децентрализованного производства по требованию, что позволяет клиентам активно участвовать в разработке продукции. AM может помочь уменьшить ограничения ресурсов, связанные с размером, минимизировать отходы материалов и поддержать мелкосерийное и строго индивидуальное производство, например, запасных частей. Архитектура открытого дизайна AM способствует росту рынка, способствует локализации производства, генерирует потребительский спрос, дифференцированный по ценностям, меняет практику лидеров рынка, а также поддерживает и распространяет социальную устойчивость в их повседневной деятельности.

Облачные технологии предоставляют платформу для централизованного хранения и децентрализованного доступа к различным инструментам анализа данных и вычислений для удовлетворения растущих потребностей массовой индивидуализации, улучшения реагирования на клиентов и изменения рынка, а также обеспечения более широкого глобального сотрудничества. На зрелость выбора поставщика и стратегии закупок может влиять эффективность и своевременность обмена данными с партнерами.

Благодаря высокой надежности и прозрачности блокчейн является еще одной узкоспециализированной технологией Индустрии 4.0, предназначенной для эффективной интеграции потоков информации и материалов. Блокчейн может изменить способ получения, управления и использования критически важных данных о продукте на протяжении всего жизненного цикла продукта, что обеспечивает лучший дизайн продукта, более эффективное планирование производства и продаж, а также ответственное восстановление на этапе EOL. С экологической точки зрения блокчейн может помочь сократить количество отходов и способствовать вторичной переработке. Кроме того, отслеживаемость блокчейна может повысить социальную устойчивость за счет лучшего обеспечения прав человека, справедливости и безопасности. Например, прослеживаемая запись истории продукта позволяет покупателям и производителям торговать с высокой уверенностью.

Индустрия 4.0 позволила создать устойчивое складское хозяйство. Склады являются важными складскими и узловыми объектами в логистической сети, которые обеспечивают защиту товаров и устраняют разрыв между различными логистическими операциями, например, закупками и производством. Управление складом состоит из четырех операций, а именно: приема и учета товаров от разных поставщиков, хранения товаров в соответствующих местах, поиска и комплектации товаров, когда они необходимы, и отгрузки клиентам. Технологии Индустрии 4.0 открыли возможности для интеллектуальных и устойчивых складских решений с расширенными возможностями принятия решений на основе информации и коммуникаций. Использование Интернета вещей, CPS, искусственного интеллекта и автономных роботов исследовалось в различных операциях, например, при получении, идентификации, хранении и распределении продукт, а также при сборе продуктов и доставка с помощью автономных роботов.

Устройства с поддержкой Интернета вещей широко используются в интеллектуальном управлении складами крупными компаниями, например, DHL, Amazon и JD.com. Сочетание Интернета вещей и CPS обеспечивает быстрое соединение интеллектуальных активов на складе, например поддонов, вилочных погрузчиков, машин и роботов. Это обеспечивает сбор данных в режиме реального времени и системный мониторинг товаров, оборудования и персонала, что улучшает складские операции, принятие решений, безопасность и

использование ресурсов. Кроме того, используя Интернет вещей, облачные технологии и блокчейн, можно облегчить отслеживание и прозрачность, а также свести к минимуму ошибки и задержки складских операций.

Сочетание сбора, аналитики и оптимизации облачных данных позволяет улучшить связь и позиционирование транспортных средств, а также более точно прогнозировать время их прибытия, чтобы оптимизировать место стыковки и обеспечить последовательность доставки, благодаря чему можно сократить затраты на транспортировку, выбросы парниковых газов и рабочее время водителей грузовиков. Кроме того, эти технологии могут обеспечить лучшую видимость уровней запасов, повышение точности инвентаризации и использования пространства, снижение затрат на запасы, улучшение управления процессами и безопасностью, а также улучшение обслуживания клиентов.

Умные роботы состоят из различных датчиков и мощных процессоров, которые позволяют им широко чувствовать, принимать разумные решения и вести себя точно. Умные роботы все чаще используются для замены ручных операций, минимизации ошибок и повышения эффективности и безопасности. Также обсуждалось использование БПЛА для сбора данных и мониторинга процессов. АМ — еще одна новая технология, которая все чаще используется в управлении складами и обеспечивает недорогое решение для хранения цифровых запасов большого количества товаров с низким и нерегулярным спросом.

Виртуальные технологии получили широкое распространение для повышения эффективности и обучения складских операций. Например, виртуальную реальность (VR) можно использовать для обучения новых сотрудников, не прерывая складские операции, а при минимальных рисках — для обучения некоторым опасным операциям, например, обращение с опасными материалами. Моделирование широко используется для визуализации, тестирования и оценки эффективности новых технологий и процессов. Некоторые логистические компании, например, DHL, используют дополненную реальность для управления и контроля складских процессов, где операторам могут быть предоставлены инструкции в реальном времени и визуализация задач, чтобы обеспечить лучшую помощь и максимизировать их эффективность.

Индустрия 4.0 сделала возможным устойчивый транспорт. Перевозка товаров между разными точками во многом определяет устойчивость логистической системы, а технологии Индустрии 4.0 могут использоваться для повышения устойчивости в различных транспортных видах деятельности, например, интеллектуальные транспортные системы, маршрутизация транспортных средств, сокращение выбросов, управление зеленым парком, а также услуги по приему и доставке. Интеграция Интернета вещей и искусственного интеллекта в облачную платформу обеспечивает обработку данных и анализ условий дорожного движения в режиме реального времени, информацию о транспортных средствах, динамические требования, а также доступность и использование ресурсов. Сочетая передовые алгоритмы оптимизации, например, генетический алгоритм и алгоритм моделирования отжига, информацию в реальном времени можно использовать для лучшего планирования транспортировки и своевременного принятия решений, чтобы минимизировать задержки транспортировки, повысить эффективность реагирования на аварии, сократить потребление топлива и затраты, а также свести к минимуму выбросы парниковых газов, шум и подверженность населения рискам и опасностям.

Аналитика больших данных и искусственный интеллект предоставляют вычислительные мощности для обработки большого количества данных из разных источников, собранных с датчиков Интернета вещей, и выбора правильного качества и количества данных для различных инструментов поддержки принятия решений, и это привело к увеличению внимания к управляемым данным. устойчивое планирование перевозок и оптимизация логистики. Исследователи исследовали систему маршрутизации «зеленых» транспортных средств, встроенную в аналитику больших данных и искусственный интеллект, для улучшения транспортировки в интеллектуальной логистической системе, где были улучшены показатели затрат, энергопотребления, выбросов парниковых газов и обслуживания клиентов. Оптимизация на основе данных также использовалась при устойчивом планировании мультимодальных перевозок. Благодаря балансировке пропускной способности и оптимизации различных видов транспорта на основе данных резко возросло использование низкоуглеродных и экологически чистых видов транспорта, например, переход от автомобильного транспорта к железнодорожному, без существенного компромисса по экономической эффективности.

Виртуальные технологии предоставляют мощные модули для включения устойчивости в моделирование и анализ реальных логистических систем. Ученые представили анализ на

основе моделирования для планирования, принятия решений и контроля логистической сети с поддержкой CPS. Минимизируя количество грузовиков с низкой или пустой загрузкой, моделирование улучшает транспортные стратегии за счет снижения расхода топлива, затрат, выбросов парниковых газов и рабочего времени водителей грузовиков. Имитационные модели также использовались, чтобы показать преимущества совместного использования ресурсов в устойчивых логистических системах. Кроме того, комбинированная оптимизация и моделирование все чаще используются в устойчивой логистике, например, при проектировании инфраструктуры и оптимизации сети, чтобы воспользоваться преимуществами обоих методов.

Технологии Индустрии 4.0 изменили способы доставки товаров. Акцент на умных и беспилотных транспортных средствах, то есть автономных грузовиках и грузовых автомобилях, продемонстрировал потенциал снижения затрат, количества аварий и выбросов CO₂. Еще одна технология, меняющая правила игры, - это БПЛА, который используется во многих странах для доставки посылок, продуктов питания, лекарств, вакцин и образцов крови.

Платформы на основе блокчейна используются, чтобы помочь компаниям отслеживать и измерять выбросы углекислого газа, связанные с их логистической деятельностью. Технологии глубокого обучения и искусственного интеллекта показали ценность использования цифровой голосовой помощи и интеллектуальной системы информационной поддержки в транспортных и логистических услугах, которые улучшают опыт работы курьеров, уровень обслуживания и операционную эффективность.

Цифровизация и системная интеграция для устойчивой логистики. В целом, цифровизация является наиболее важной характеристикой логистической системы, основанной на Индустрии 4.0, которая направлена на переход к операциям, полностью управляемым данными. Эта цифровая трансформация требует высокоуровневой интеграции различных интеллектуальных технологий и систем, которые будут способствовать повышению операционной эффективности и созданию устойчивых возможностей для создания добавленной стоимости. В связи с этим было проведено множество исследований по усилению цифровизации и системной интеграции всей логистической системы.

Многие считают, что платформы на базе Интернета вещей, которые устанавливают связь между физическим миром и цифровым миром, являются первым шагом на пути к достижению высокого уровня цифровизации и системной интеграции различных логистических операций. Аналитика больших данных и искусственный интеллект - это цифровые элементы для анализа тенденций, управления объектами, управления рисками и других логистических операций. Облачная интеграция Интернета вещей и искусственного интеллекта обеспечивает анализ данных в реальном времени и оптимальную поддержку принятия решений. Кроме того, передовые технологии управления и автономные технологии повышают операционную эффективность, точность и безопасность различных логистических операций.

Информационный поток из нескольких источников в режиме реального времени не только улучшает операции внутри компании, но также открывает путь к лучшему совместному использованию ресурсов и согласованию спроса между различными компаниями. Ученые разработали интеллектуальную веб-платформу для контроля качества, отслеживания, согласования и оптимизации спроса фермеров, перевозчиков и клиентов в системе обратной логистики для восстановления и торговли биомассой. Лю исследовал управляемую данными логистическую информационную систему для интеллектуального сотрудничества между различными заинтересованными сторонами, например, правительствами, банками, предприятиями, поставщиками услуг и клиентами, для достижения быстрого принятия решений, снижения затрат и высококачественных услуг. Чтобы оценить эффективность устойчивых логистических систем, реализованных в рамках Индустрии 4.0, можно использовать имитационные модели для получения количественной информации. Используя имитационные модели, проанализировали снижение затрат и уровень обслуживания благодаря интеллектуальному сотрудничеству по доставке продуктов через Интернет на дом.

Учитывая как экономическую, так и экологическую устойчивость, Мастос и др. предложили систему прямой и обратной логистики с поддержкой Индустрии 4.0 для эффективной обработки опасных химикатов. На внутрифирменном уровне эта система обеспечивает эффективные логистические операции, включая сбор опасных химических веществ на основе данных, упреждающее обслуживание оборудования, мониторинг транспортных средств, визуализацию данных и оптимизацию решений. На уровне внутри

компания создается облачная экосистема совместной работы для эффективного согласования спроса и сотрудничества. С точки зрения корпоративной социальной устойчивости, ученые обсудили применение Интернета вещей и других интеллектуальных технологий для улучшения устойчивой практики логистики в здравоохранении.

Блокчейн - еще одна важная технология для оцифровки логистической системы и интеграции интеллектуальных устройств и платформ для обмена данными и транзакций в виртуальной валюте. Это повышает прозрачность, отслеживаемость и безопасность на каждом этапе логистических операций за счет отслеживания информации, физических компонентов, транзакций, а также действий и поведения участников, что облегчает управление конфликтами и снижение рисков во всей логистической системе. Это также открывает путь к устойчивому сотрудничеству между различными заинтересованными сторонами в заслуживающей доверия бизнес-среде. Кроме того, также обсуждались возможности использования цифровых систем на основе блокчейна для улучшения экологических показателей логистических операций посредством оценки жизненного цикла.

Обсуждение

Все больше внимания уделяется повышению устойчивости логистических систем с помощью технологий Индустрии 4.0, и во всем мире прилагаются усилия для продвижения теоретических разработок, передачи технологий, инноваций бизнес-моделей и промышленного применения. На основе контент-анализа нами суммировано влияние технологий Индустрии 4.0 на экономические, экологические и социальные аспекты устойчивой логистики. Технологическая революция предоставляет компаниям возможности трансформировать свои логистические операции, чтобы они могли более оперативно реагировать на изменения внешнего рынка, одновременно обеспечивая эффективность внутренних операций. С одной стороны, благодаря мелкомасштабному локализованному производству с использованием АМ и автономных роботов открываются новые возможности для бизнеса с растущими потребностями в индивидуальной настройке и услугах, связанных с продуктами, а это требует инноваций в сфере услуг и улучшения логистических операций. Кроме того, веб-системы обмена информацией повышают уровень обслуживания и качество обслуживания клиентов за счет высокого уровня участия клиентов в процессах проектирования, производства и доставки. С другой стороны, интеграция Интернета вещей, анализа больших данных и алгоритмов искусственного интеллекта через облачные платформы обеспечивает вычислительную мощность для обработки больших объемов данных из нескольких источников, которые можно использовать для лучшей визуализации и анализа некоторых ключевых параметров, т.е. тенденции спроса и требования к техническому обслуживанию. Кроме того, используя более качественные данные в качестве исходных данных для моделей оптимизации и моделирования, важные логистические решения, например, планирование производства, управление запасами, маршрутизация и графики поставок, могут быть приняты своевременно и более точно.

Наиболее важной характеристикой устойчивой логистической системы с поддержкой Индустрии 4.0 является упреждающее планирование на основе данных, принятие решений в реальном времени и автономные операции. Эта высокоуровневая цифровизация и системная интеграция привели к созданию концептуальной архитектуры цифрового двойника логистических систем. Цифровой двойник логистической системы полностью управляется данными, собранными как из кибер-, так и из физических источников, например, интеллектуальных датчиков и систем планирования ресурсов предприятия (ERP), и способен к упреждающему планированию с улучшенной аналитикой исторических данных, принятие реактивных решений и анализ сценариев с использованием данных в реальном времени. С социально-экономической точки зрения обмен информацией между компаниями в логистической системе и использование анализа данных открывают возможности для лучшего согласования спроса, совместного использования ресурсов и использования объектов. Использование автономных роботов и БПЛА сводит к минимуму ошибки, риски и трудозатраты при производстве, складировании и транспортировке, одновременно обеспечивая инновационные и экологически чистые способы доставки товаров.

Лучшее планирование ресурсов снижает образование отходов и воздействие на окружающую среду на разных этапах логистической системы. Кроме того, облачная информационная система предоставляет возможности для мониторинга всего жизненного цикла продукта и содействия эффективному облачному восстановлению и переработке, когда они становятся продуктами EOL. С точки зрения социальной устойчивости внедрение

технологий блокчейна обеспечивает лучшую отслеживаемость и более надежную бизнес-среду в логистических системах. Более широкое использование автономных устройств повышает безопасность и рабочую среду при различных логистических операциях. Виртуальные технологии с поддержкой искусственного интеллекта и дополненная реальность предоставляют логистическим операторам безрисковое обучение, виртуальную помощь, а также инструкции по выполнению задач и визуализацию в реальном времени для улучшения их рабочего опыта и эффективности. Кроме того, в условиях растущей цифровизации, разработки аппаратного и программного обеспечения, а также системной интеграции могут быть созданы новые рабочие места в секторе логистики, а также в других смежных отраслях.

Выводы

Концепции устойчивой логистики и Индустрии 4.0 были сосредоточены на многих исследователях из-за растущей потребности в высокотехнологичной, умной и устойчивой логистике. В этой статье представлен систематический обзор литературы, посвященный недавним разработкам и внедрению различных технологий Индустрии 4.0 в устойчивой логистике как на внутри-, так и на межфирменном уровне. Сначала был проведен библиометрический анализ, чтобы определить тенденцию публикаций, наиболее влиятельные журналы и исследования, сети совместного цитирования и наиболее часто используемые ключевые слова. Затем был проведен контент-анализ, чтобы понять текущую исследовательскую среду о том, как технологии Индустрии 4.0 могут использоваться для улучшения устойчивой логистической деятельности, а именно производства и закупок, складирования, транспортировки и общей системной интеграции. Были обобщены текущие научные разработки, а также обсуждены проблемы, пробелы в литературе и будущие возможности исследований.

1) Необходимо сосредоточиться на трансформации умной логистики, ориентированной на человека. Последняя концепция Индустрии 5.0 расширяет технологически ориентированную трансформацию Индустрии 4.0 до более социально устойчивой, ориентированной на человека трансформации, и поэтому необходимы будущие исследования, чтобы понять, как интеллектуальная трансформация, ориентированная на человека, может быть достигнута в секторах логистики. Кроме того, необходимо лучше понять некоторые социальные последствия, такие как демографические изменения и влияние на стареющих работников внедрения этих интеллектуальных технологий в секторах логистики.

2) Многоцелевая сбалансированная система проектирования для устойчивых логистических операций. Это требует новых алгоритмов и систем, которые призваны помочь в принятии решений с учетом множества целей.

3) Необходимо лучше проанализировать воздействие логистических систем, основанных на Индустрии 4.0, на окружающую среду в течение жизненного цикла. Необходимы будущие исследования, чтобы обеспечить более глубокое понимание воздействия на окружающую среду посредством анализа жизненного цикла.

4) Аналитические модели и оптимизация для разумного внедрения технологий Индустрии 4.0 в различных логистических операциях, а также для количественного определения экономической выгоды, различных показателей устойчивости и общей производительности системы. Кроме того, в эпоху Индустрии 4.0 эффективность, результативность, гибкость, маневренность и воздействие на окружающую среду логистической системы, вероятно, необходимо будет заново сбалансировать, что потребует более продуманных аналитических инструментов и алгоритмов оптимизации.

Цифровой двойник устойчивых логистических систем должен быть ориентирован на предоставление комплексных решений для различных логистических операций. Посредством облачной системы прогнозная аналитика с искусственным интеллектом и данные в реальном времени от датчиков Интернета вещей, а также других кибер- и физических порталов должны быть легко связаны с инструментами аналитической оптимизации и моделирования для улучшения принятия упреждающих решений и решений в реальном времени. в устойчивых логистических операциях. Кроме того, в будущих исследованиях также предлагается разработать двунаправленную архитектуру управления для достижения высокой автономности логистических операций, например, складирования.

5) Полуавтономные устойчивые транспортные решения. Даже несмотря на то, что в последние годы широкое внимание уделяется автономным транспортным средствам, реализация полностью автономной транспортной системы сталкивается со многими

проблемами и неопределенностями, то есть с юридическими ограничениями, технологической зрелостью и проблемами безопасности. Таким образом, использование полуавтономных решений является привлекательной альтернативой устойчивым логистическим решениям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Rauter R., Jonker J., Baumgartner R.J. Going our own way: driving forces in the development of sustainable business models // *J Clean Prod.* – 2017. - №140. – P. 144–154.
- 2 Allawi H., Guo Y., Sarkis J. Decision support for collaboration planning in sustainable supply chains // *J Clean Prod.* – 2019. - № 229. – P. 761–774.
- 3 Kaiser F.H., Ahmed K., Sikora M., Choudhary A., Simpson M. Decision support systems for sustainable logistics: a review and bibliometric analysis // *India Data Res.* – 2017. - №117. – P. 1376–1388.
- 4 Winkelhaus S., Gross E.H. Logistics 4.0: A systematic review of a new logistics system // *Int J Prod Res.* – 2020. - №58. – P. 18–43.
- 5 Sony M., Naik S.S. Ten lessons for managers in implementing Industry 4.0 // *IEEE Eng Manage Ed.* – 2019. - №47. – P. 45–52.
- 6 Martins V.B., Anholon R., Sánchez-Rodríguez V., Leal Filho V., Quelhas O.L.G. Brazilian logistics professionals' views on sustainable development: an exploratory study // *Int J Logist Manag.* – 2020. - №32(1). – P. 190–213.
- 7 Nenni M.E., Sforza A., Sterle S. A review of urban freight transport models based on sustainability // *Soft Comput.* – 2019. - №23. – P. 2899–2909.
- 8 Evangelista P., Durst S. Managing environmental sustainability knowledge of third party logistics service providers // *Vine.* – 2015. - №45. – P. 509–529.
- 9 Chalmeta R., Santos-DeLeon N.J. Sustainable supply chain in the era of Industry 4.0 and big data: A systematic review of literature and research // *Sustainability.* – 2020. - №12. – P. 4108.
- 10 Reddy K.R., Gunasekaran A., Kalpana P., Sreedharan V.R., Kumar S.A. Development of a blockchain framework for the automotive supply chain: a systematic review // *Computer Indian English.* – 2021. - №157. – P. 107-334.
- 11 Riahi I., Saikouk T., Gunasekaran A., Badraoui I. Artificial intelligence applications in supply chain: descriptive bibliometric analysis and future research directions // *Expert system. Adj.* – 2021. - №173. – P. 114-702.
- 12 Khorram Niaki M., Nonino F. Additive manufacturing management: a review and future research agenda // *Int J Prod Res.* – 2017. - №55. – P. 1419–1439.
- 13 Roblek V., Thorp O., Bach M.P., German A., Meszko M. The Fourth Industrial Revolution and Sustainable Development Practices: An Approach to Comparative Automated Content Analysis of Theory and Practice // *Sustainability.* – 2020. - №12. – P. 84-97.
- 14 Bepalyy S., Petrenko A. Impact of Urban Transport on City Development in the Context of Sustainable Development // *Transportation Research Procedia, XIII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability.* – 2023. - №68. – P. 534-538.
- 15 Bepalyy S. Transport Infrastructure of the Countries of Central Asia: State and Development Trends // *Transportation Research Procedia, XIII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability.* – 2023. - №68. – P. 766-770.

REFERENCES

- 1 Rauter, R., Jonker, J., Baumgartner, R. J. (2017). Going our own way: driving forces in the development of sustainable business models. *J Clean Prod*, 140, 144–154.
- 2 Allawi, H., Guo, Y., Sarkis, J. (2019). Decision support for collaboration planning in sustainable supply chains. *J Clean Prod*, 229, 761–774.
- 3 Kaiser, F. H., Ahmed, K., Sikora, M., Choudhary, A. Simpson M (2017). Decision support systems for sustainable logistics: a review and bibliometric analysis. *India Data Res*, 117, 1376–1388.
- 4 Winkelhaus, S., Gross, E. H. (2020). Logistics 4.0: A systematic review of a new logistics system. *Int J Prod Res*, 58, 18–43.
- 5 Sony, M., Naik, S. S. (2019). Ten lessons for managers in implementing Industry 4.0. *IEEE Eng Manage Ed.*, 47, 45–52.

- 6 Martins, V. B., Anholon, R., Sánchez-Rodriguez, V., Leal Filho, V., Quelhas, O. L. G. (2020). Brazilian logistics professionals' views on sustainable development: an exploratory study. *Int J Logist Manag*, 32(1), 190–213.
- 7 Nenni, M. E., Sforza, A., Sterle, S. (2019). A review of urban freight transport models based on sustainability. *Soft Comput*, 23, 2899–2909.
- 8 Evangelista, P., Durst, S. (2015). Managing environmental sustainability knowledge of third party logistics service providers. *Vine*, 45, 509–529.
- 9 Chalmeta, R., Santos-DeLeon, N. J. (2020). Sustainable supply chain in the era of Industry 4.0 and big data: A systematic review of literature and research. *Sustainability*, 12, 4108.
- 10 Reddy, K. R., Gunasekaran, A., Kalpana, P., Sreedharan, V. R., Kumar, S. A. (2021). Development of a blockchain framework for the automotive supply chain: a systematic review. *Computer Indian English*, 157, 107-334.
- 11 Riahi, I., Saikouk, T., Gunasekaran, A., Badraoui, I. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain: descriptive bibliometric analysis and future research directions. *Expert system. Adj.*, 173, 114-702.
- 12 Khorram Niaki M, Nonino F (2017). Additive manufacturing management: a review and future research agenda. *Int J Prod Res*, 55, 1419–1439.
- 13 Roblek, V., Thorp, O., Bach, M. P., German, A., Meszko, M. (2020). The Fourth Industrial Revolution and Sustainable Development Practices: An Approach to Comparative Automated Content Analysis of Theory and Practice. *Sustainability*, 12, 84-97.
- 14 Bepalyu, S., Petrenko, A. (2023). Impact of Urban Transport on City Development in the Context of Sustainable Development. *Transportation Research Procedia*, XIII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability, 68, 534-538.
- 15 Bepalyu, S. (2023). Transport Infrastructure of the Countries of Central Asia: State and Development Trends. *Transportation Research Procedia*, XIII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability, 68, 766-770.

С.В. Беспалый^{1*}, С.Қ. Тугаев¹

¹Инновациялық Еуразия университеті, Қазақстан

Тұрақты логистикадағы Индустрия 4.0 технологиялары: көлік компанияларында қолдану мүмкіндіктері

Негізгі мәселе: Қазіргі уақытта тұтынушылардың әртараптандырылған қажеттіліктеріне, қатаң экологиялық ережелерге және жаһандық бәсекелестерге байланысты нарықтық бәсекелестік барған сайын қатал болып келеді. Бүгінгі бәсекелес нарықта компанияларға аман қалуға ғана емес, сонымен қатар өркендеуге мүмкіндік беретін маңызды факторлардың бірі – логистикалық тиімділік. Бұл зерттеу Индустрия 4.0 технологияларын логистика секторларының экономикалық тиімділігін, қоршаған орта көрсеткіштерін және әлеуметтік әсерін жақсарту мүмкіндіктері ретінде қарастырады. Дегенмен, бұл технологиялық түрлендіру бірқатар қиындықтарды тудырады, атап айтқанда, тұрақтылықтың әртүрлі өлшемдері, түсініксіз пайдалар, өмірлік циклдің қоршаған ортаға әсерлері, теңсіздік мәселелері және технологияның жетілу деңгейі арасындағы келіссөздер. Зерттеулердің негізгі бағыты 4.0 индустриясына қатысты тұрақтылық пен жеткізу тізбегінің жалпы мәселелеріне бағытталған. Дегенмен, 4.0 индустриясының әртүрлі технологияларымен тұрақты логистиканы біріктіруге бағытталған жүйелі талдау әлі де жоқ.

Мақсаты: Кәсіпорындардың тұрақты тәжірибесін қалыптастыруға көмектесетін, сонымен қатар әлеуметтік жауапты компанияның имиджін қалыптастыратын, сондай-ақ олардың жалпы тұрақты жұмысын жақсартуға көмектесетін көлік компанияларының пайдалануы үшін Индустрия 4.0 технологияларын анықтау және негіздеу үшін жүйелі талдау жүргізу. экономикалық және экологиялық өлшемдері.

Әдістері: Бір немесе бірнеше зерттеу сұрақтары мен тақырыптарына қатысты барлық сәйкес мақалаларды анықтауға, бағалауға, түсіндіруге және жіктеуге бағытталған жүйелі әдебиет шолуы. Нәтижелері негізінен белгілі бір білім саласының сипаттамалық нәтижелеріне бағытталған және іріктеу бұрмалануынан зардап шегуі мүмкін сипаттамалық әдебиеттік зерттеумен салыстырғанда, жүйелі әдеби шолуды зерттеу ландшафтының жан-жақты шолуын қамтамасыз етеді.

Нәтижелер және олардың маңыздылығы: Талдау көлік компаниялары өз назарын болашақ даму үшін бүкіл өмірлік циклдегі тұрақтылықтың әртүрлі көрсеткіштері, адамға бағытталған технологиялық трансформация, жүйе интеграциясы және цифрлық егіздер, жартылай автономды көлік шешімдері, интеллектуалды кері логистика және компанияны басқарудың басқа тиімді құралдары.

Түйінді сөздер: тұрақты логистика; жасыл логистика; смарт технологиялар; индустрия 4.0.

S. Bespalyu^{1*}, S. Tugayev¹

¹Innovative University of Eurasia, Pavlodar, Kazakhstan

Industry 4.0 Technologies in Sustainable Logistics: Possibilities for Application in Transport Companies

Main problem: Nowadays, market competition is becoming increasingly fierce due to diversified customer needs, strict environmental regulations and global competitors. One of the most important factors allowing companies not only to survive, but thrive in today's competitive market is logistics efficiency. This study examines Industry 4.0 technologies as opportunities to improve the economic efficiency, environmental performance and social impact of logistics sectors. However, this technological transformation poses a number of challenges, namely trade-offs between different sustainability metrics, unclear benefits, life-cycle environmental impacts, inequality issues and technology maturity. The research focuses on general sustainability and supply chain issues related to Industry 4.0. However, there is still no systematic analysis aimed at combining sustainable logistics with various Industry 4.0 technologies.

Purpose: Conducting a systematic analysis to identify and justify the use of Industry 4.0 technologies for use by transport companies that help shape the sustainable practices of enterprises, but also create the image of a socially responsible company, as well as improve their overall sustainable performance in economic and environmental dimensions.

Methods: A systematic literature review aimed to identify, evaluate, interpret and classify all relevant articles addressing one or more research questions and topics. Compared to a descriptive literature study, the results of which mainly focus on the descriptive results of a particular field of knowledge and may suffer from selection bias, a systematic literature review provides a comprehensive overview of the research landscape.

Results and their significance: The analysis shows that transport companies need to focus their attention, also for future development, on the balance between various indicators of sustainability throughout the entire life cycle, human-centered technological transformation, system integration and digital twins, semi-autonomous transport solutions, intelligent reverse logistics and other effective company management tools.

Keywords: sustainable logistics; green logistics; smart technologies; industry 4.0.

Дата поступления рукописи в редакцию: 12.03.2024 г.