

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ЦЕПИ ПОСТАВОК

Рассмотрены особенности проектирования цифровых двойников для мониторинга бизнес-процессов в цепях поставок. Авторы предлагают структурировать информационный поток о состоянии бизнес-процессов в звеньях цепи поставок для получения оперативной информации о текущих результатах и повышения точности прогнозирования.

*Ключевые слова:* транспортная стратегия, управление цепями поставок, цифровой двойник, искусственный интеллект, интернет вещей

EDN: IPQPFK



О.Н. Ларин



А. Оюунгарав

Реализация положений Транспортной стратегии Российской Федерации обеспечит к 2030 году качественное развитие отрасли, что создаст условия для повышения уровня жизни населения страны и конкурентоспособности национальной экономики. В число главных приоритетов Стратегии включены развитие мультимодальных логистических технологий и цифровая трансформация отрасли. При этом в документе отмечается, что недостаточный уровень цифровизации является одной из основных причин сравнительно высоких логистических издержек и низкой надежности доставки грузов по внутрироссийским и международным транспортным коридорам.

Цифровизация транспортной системы страны является комплексным стратегическим проектом, который предусматривает реализацию различных мероприятий для повышения эффективности и безопасности перевозочного процесса. С использованием цифровых технологий уже сегодня организуются перевозки с использованием беспилотного транспорта, ведется мониторинг состояния транспортных средств и объектов линейной инфраструктуры, автоматизируются процессы планирования и управления грузовыми и пассажирскими потоками, внедряется электронный документооборот в мультимодальных сообщениях и трансграничных процедурах, организуется взаимо-

**Ларин Олег Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: развитие транзитного потенциала транспортных систем. Автор более 200 научных работ, в том числе семи монографий.

**Оюунгарав Амарсанаа**, аспирант кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: совершенствование технологий управления перевозками. Автор четырех научных работ.

**Прибыткова Дарья Андреевна**, аспирант кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: развитие сети грузовых терминалов в крупных агломерациях. Автор трех научных работ.

**Моононхуу Цогт**, аспирант кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: развитие сети железнодорожных коридоров. Автор двух научных работ.

**Баасан Сарангэрэл**, аспирант кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: совершенствование логистических процессов. Автор двух научных работ.

действие участников транспортно-логистической деятельности с государственными органами по принципу «одного окна» при организации перевозок различными видами транспорта.

Перспективным направлением цифровизации отрасли являются проекты создания «цифровых двойников» (ЦД), которые обеспечивают участников транспортного процесса предиктивной аналитикой о динамике технологических процессов. Применение ЦД обеспечивает:

- отображение (визуализацию) происходящих с объектом изменений в процессе функционирования на основе поступающей в режиме реального времени информации о параметрах работы его компонентов и характеристик внешней среды;
- интеллектуальный анализ параметров работы и выявление несоответствий в работе объекта установленным требованиям;
- выработку способов повышения эффективности функционирования объекта по критериям безопасности, удовлетворенности клиентов и прибыльности бизнеса.

В Стратегии цифровой трансформации отрасли Российской Федерации предусмотрена реализация проекта «Цифровых двойников объектов транспортной инфраструктуры», которые станут основой для ЦД «Единой опорной сети страны». В рамках данного направления планируется создать с использованием BIM-технологий (Building Information Modeling) информационные модели всех объектов транспортной инфраструктуры, для последующего использования на различных этапах жизненного цикла реального физического объекта — проектирование, создание, эксплуатация, ремонт, вывод из эксплуатации.

Основные эффекты применения ЦД объектов транспортной инфраструктуры образуются в виде повышения качества транспортно-логистических услуг, обеспечения их безопасности и надежности, а также уменьшения вредного воздействия на экологию. ЦД транспортной инфраструктуры использует информацию о состоянии объекта, поступающую в режиме реального времени с датчиков контроля, для анализа и предиктивного моделирования с помощью технологий искусственного интеллекта. При отклонении какого-либо рабочего параметра объекта от нормы, ЦД сигнализирует об этом и дает информацию для принятия мер или сам в автоматическом режиме корректирует работу объекта. При этом могут быть и препятствия широкому применению ЦД: значительные финансовые ресурсы на разработку ЦД и модернизацию систем сбора данных; длительные сроки организационных изменений (перестройка бизнес-процессов, выработка компетенций у сотрудников и пр.); неготовность

партнеров и клиентов взаимодействовать с ЦД; риски киберугроз и кражи данных; критическая зависимость от поставщиков ЦД и ИТ-сервисов.

На сегодняшний день в отечественных и зарубежных научных работах можно встретить различные определения понятия ЦД. Например, в [14] под ЦД понимается метод разработки интеллектуальных систем, использующих информацию об объекте в реальном времени. В [3;6;7 и др.] подчеркивается виртуальный характер ЦД, существующих в виде математических моделей, используемых для проектирования структуры и функций реального объекта, прогнозирования отказов, улучшения выполняемых процессов.

В контексте настоящего исследования под ЦД будем понимать информационную систему, которая состоит из трех основных компонентов: цифровая модель реального объекта, средства поддержания двунаправленных информационных связей (передачу данных) между объектом и цифровой моделью; цифровые технологии, обеспечивающие жизнеспособность ЦД. Под цифровой моделью понимается система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов, описывающая структуру, функциональность и поведение объекта. В качестве объекта ЦД могут выступать физические, технические, экономические и даже социальные системы (промышленное предприятие, транспортное средство и его агрегаты, городское хозяйство и пр.). Основными цифровыми технологиями, обеспечивающими жизнеспособность ЦД, являются: интернет вещей (The Internet of Things, IoT); облачные вычисления (Cloud Computing); API и открытые стандарты (APIs & Open Standards); искусственный интеллект (Artificial Intelligence); инструменты цифровой визуализации (Augmented, Mixed, and Virtual Reality). Особенности применения цифровых технологий в разработке ЦД рассмотрены в [2;5].

В последнее время в реальном секторе экономики возрос интерес к «цифровым двойникам цепочек поставок» (ЦДЦП), которые способны собирать и обрабатывать потоки данных о работе сложно структурированных и глобально распределенных участников ЦП [9;16]. Цифровизация ЦП создает базис для интеграции процессов планирования и текущей операционной деятельности компаний, быстрого реагирования на изменчивость спроса и сокращение жизненного цикла продукции. Однако на сегодняшний день пока не выработаны универсальные подходы к построению ЦДЦП, к их функциональному наполнению модели, структурированию двусторонних информационных потоков и др. Получение ответов на данные вопросы является целью настоящего исследования.

### Основная часть

Цепочка поставок является сложной по составу и структуре системой территориально-распределенных взаимодействующих участников. К основным участникам ЦП относятся: фокусная компания (производитель товара); поставщики фокусной компании, в многозвенных цепях — поставщики поставщиков и т.д. («upstream»); покупатели основной продукции, в многозвенных цепях — дистрибуторы, торговые сети и другие структуры сбыта («downstream»); перевозчики; владельцы транспортной и логистической инфраструктуры (терминалы, склады и пр.); владельцы подвижного состава, погрузочно-разгрузочных устройств, контейнеров и т.п.; логистические посредники (экспедиторы, организаторы мультимодальных сервисов и пр.).

Целевое назначение ЦП состоит в удовлетворении требований (выполнении «Заказов») потребителей с соблюдением законодательных ограничений. Последовательность, взаимосвязанность и взаимозависимость выполняемых бизнес-процессов участниками ЦП обуславливают целесообразность применения процессного подхода при создании ЦДЦП как единой системы участников, взаимодействующих с целью повышения удовлетворенности потребителей и собственной эффективности. Основная функция ЦДЦП заключается в обеспечении интеллектуальной поддержки участников ЦП при реализации стратегического и оперативного планирования (прогнозирование спроса, пополнение запасов, выполнение заказов и пр.), интеграции, координации и т.п.

Структурно ЦДЦП состоит из подсистем — ЦД участников ЦП и обеспечивает их информационное взаимодействие. Поэтому к ЦДЦП применяется термин «агрегированный ЦД». В [8] рассмотрены особенности построения интегрированных структур ЦДЦП. Примеры ЦД отдельных участников ЦП:

- ЦД складов и распределительных центров — обеспечивает сбор и анализ данных о перемещении товаров и оборудования по складу, выявляет неэффективные операции, ошибки в работе персонала, оценивает эффективность планируемых изменений в конфигурации складских помещений и внедрения нового оборудования;

- ЦД логистической инфраструктуры — обеспечивает сбор и анализ данных о технологических процессах (прибытие подвижного состава, работа погрузочно-разгрузочных машин и оборудования), определение места на терминале для обслуживания транспортного средства с учетом свободного оборудования и персонала.

- ЦД транспортно-логистической компании — обеспечивает сбор и анализ данных о транспортных процессах, оперативный учет затрат на мультимодальную

перевозку с учетом внешних факторов для прогнозирования прибыльности выполнения заказа и реальной себестоимости услуги, чтобы оперативно корректировать тарифные решения.

Типовые функции ЦД участников ЦП:

- определение ресурсов, необходимых для реализации «Заказа», обеспечение их доступности;
- распределение обязанностей, ответственности и полномочий в отношении реализуемых бизнес-процессов;
- оценка отклонений в процессах и внесение в них изменения для достижения плановых показателей;
- учет рисков для минимизации негативных последствий или использования возникающих возможностей;
- обеспечение улучшений бизнес-процессов.

Цифровая модель участника ЦП использует три типа данных:

- узловой сегмент — включает данные из корпоративной ИТ-системы (ERP) о выполнении внутренних процессов (например, данные о местоположении транспортных средств, выполненных производственных операциях, обработке заявок);
- сетевой сегмент — включает данные из систем поставщиков и партнеров (например, наличие запасов на складах поставщиков и потребителей);
- общедоступный сегмент — включает контекстные данные из публичных источников (например, погода, происшествия на дорогах, ограничения в работе инфраструктуры из-за пандемии).

ЦДЦП включают два основных компонента: модуль моделирования и модуль оптимизации. Первый модуль отвечает за моделирование потока внутренних или внешних активностей участников ЦП. Оптимизационный модуль позволяет тестировать стратегии, выявлять и устранять узкие места в отдельных звеньях ЦП. При этом ЦДЦП должен быть источником достоверной и актуальной информации, чтобы создавать доверенную среду взаимодействия участников ЦП [12]. Поэтому важной задачей создания «двойников» является обеспечение надежной фиксации сведений о совершаемых действиях и выполняемых процессах всех участников ЦП. Для этих целей широко применяется технология «Блокчейн» (Blockchain, цепочка блоков), которая является разновидностью «Технологии распределенного реестра» (Distributed Ledger Technology, DLT). В [1; 15; 17; 18], рассмотрены технологические особенности фиксации транзакций в виде распределенного реестра блоков. Данная технология совмещает надежность защиты и обеспечивает доступность информации для всех участников ЦП.

Прототипом ЦДЦП являются так называемые «диспетчерские вышки» (ДВ) цепей поставок (Supply Chain

Control Tower), которые по сути являются информационными системами, интегрирующими информационные потоки от участников ЦП для реагирования на отклонения и сбои в работе в режиме реального времени [4]. Основная задача диспетчерских вышек цепей поставок (ДВЦП) заключается в обеспечении «сквозной видимости» процессов во всех звеньях ЦП (end-to-end supply chain visibility). Выделяют различные типы ДВЦП. Например, ДВ транспортных процессов, которые генерируют уведомления об отправке, сообщают о доставке, соблюдении сроков, условий перевозки и пр.; ДВ процессов управления запасами — контролируют в режиме реального времени фактический уровень запасов, прогнозируют дефицит товаров. Однако такие ДВ не создают целостную модель ЦП как единой системы многочисленных логистических звеньев, в каждом из которых осуществляется обслуживание множества «Заказов». При этом участники ЦП интересуют процессы не сами по себе (например, как соблюдаются графики перевозки или производства), а то как они влияют или могут повлиять на выполнение «Заказов» их клиентов. Поэтому все участники ЦП (производитель, субпоставщик и пр.) заинтересованы в прослеживании состояний «Заказов» и понимании воздействия различных факторов на результативность (затраты, сроки, качество и пр.) исполнения каждого «Заказа» в отдельности.

Для организации такой прослеживаемости «Заказов» следует определять соотношения между информационными потоками о «Заказах» и бизнес-процессами, связанными с их выполнением. Все участники ЦП выполняют один или несколько бизнес-процессов (производственных, технологических, управленческих, обслуживающих и др.), параметры которых опосредованы «Заказами» других участников ЦП или непосредственных потребителей готовой продукции. Поэтому предлагается «Заказы» в ЦП разделять на два типа:

- «инициирующий (первичный) Заказ» — заявка на выполнение бизнес-процесса, которую Исполнитель получает от своего «потребителя» (участника ЦП, расположенного «ниже по течению»); заказ на поставку товара; заявка на перевозку заказанного товара или произведенной продукции. Для реализации «инициирующего Заказа» исполнитель планирует выполнение собственных бизнес-процессов, а также заказывает необходимые для них ресурсы (материалы, услуги и пр.), по сути инициируя новые заказы в других участниках ЦП;
- «связанный (последующий) Заказ» — заявка на выполнение бизнес-процесса, которую один участник ЦП направляет другим, расположенным «выше по течению» в ЦП. Формирование «связанного Заказа» и

его параметры опосредованы необходимостью выполнения и характеристиками «инициирующего Заказа». Иницирующие и связанные заказы содержат требования, под которыми понимаются ожидаемые количественные или качественные характеристики или свойства поставляемого ресурса (оказываемой услуги). Каждый «связанный Заказ» должен содержать атрибут, указывающий на принадлежность к «инициирующему Заказу». На основе таких атрибутов за каждым бизнес-процессом могут быть определены положение и отношения в сетевой структуре всех бизнес-процессов, реализуемых в ЦП.

С учетом приведенных соотношений процессов и заказов в ЦП предлагается следующая модель работы ЦДЦП. Во-первых, на основе моделей бизнес-процессов их ЦД отдельных участников ЦП проектируются модели агрегированных «сквозных цепочек» бизнес-процессов (СЦБП), которые организуются и выполняются участниками ЦП для реализации «инициирующих Заказов». Во-вторых, ЦДЦП осуществляет идентификацию состояний (контроль, прогноз) «инициирующих Заказов» на основе данных о состоянии СЦБП с учетом атрибутов «связанных Заказов». Сведения о состоянии бизнес-процессов, «связанных» и «инициирующих» заказах, доступны исполнителям, а также могут быть доступны заказчику, подключенному к ЦДЦП.

Модель СЦБП содержит информацию о составе и структуре входящих в такую цепочку бизнес-процессов, а также об их текущих состояниях (реализован, ожидает, отклонение и пр.). Для удобства пользователей проектирования СЦБП в ЦДЦП могут быть предусмотрены библиотеки типовых моделей СЦБП, например:

- модель СЦБП для регулярных поставок по долгосрочным контрактам (источники поставок, пункты назначения и способы транспортировки заранее определены, объемы и сроки могут незначительно корректироваться);
- модель СЦБП для периодических поставок с вариативными параметрами (источники поставок и пункты назначения заранее определены, сроки, объемы и способы транспортировки определяются по заданным алгоритмам на основе текущих данных);
- модель СЦБП для неплановых поставок по разовым заявкам (объемы, сроки, пункты назначения, способы транспортировки заранее не определены, требуется выработка оптимальных логистических решений).

Спроектированные таким образом ЦДЦП будут способны:

- отображать состояние активов участников ЦП (доступность транспортных средств, объектов инфраструктуры, персонала и пр.);



- вести мониторинг транзакций и корректировку бизнес-процессов в режиме реального времени с учетом рисков;

- разрабатывать новые способы доставки и др.

Для создания ЦДЦП рекомендуется использовать программно-технологические платформы (Platform as a Service, PaaS), которые предоставляют среду для разработки и развертывания облачных приложений, обеспечивающих сбор, обработку и анализ данных. В [13] рассмотрены особенности создания ЦДЦП в виде облачного сервиса для проектирования многоструктурных ЦП и управления динамикой процессов их участников. Программно-технологические платформы для ЦДЦП содержат типовые средства:

- управления программным обеспечением компьютерного моделирования;
- управления бизнес-процессами участников ЦП;
- сбора, обработки, анализа, визуализации, каталогизации, хранения, передачи компьютерных моделей и результатов компьютерного моделирования;
- фиксации изменений технологических решений, модификации компьютерных моделей, вариантов конфигураций СЦБП в цепи поставок;
- оформления результатов;
- защиты данных и организации совместной работы участников ЦП в соответствии с правами доступа;
- компьютерного моделирования для планирования оптимальных параметров ЦП.

Дополнительно ЦДЦП может оснащаться специализированным инструментарием для организации взаимодействия с определенными типами оборудования, программного обеспечения или устройств. Например, платформой искусственного интеллекта (AI PaaS); интеграционной платформой (iPaaS); коммуникационной платформой (сPaaS); мобильной платформой (mPaaS). Кроме того, в ЦДЦП должны быть предусмотрены процедуры обратной связи [10;11], чтобы:

- учитывать влияние внешних и внутренних факторов на способность участников ЦП достигать намеченных результатов (создавать продукцию и оказывать услуги, отвечающие требованиям заказчиков);

- проводить мониторинг информации о динамике внешних и внутренних факторов, приводящих к нежелательным несоответствиям;

- производить измерение и оценку соответствия достигнутых результатов деятельности участников ЦП плановым показателям;

- предусматривать выработку мер по предотвращению потенциальных несоответствий и корректировку плановых показателей.

### Заключение

Для эффективного решения стратегических задач развития транспортной системы страны необходимо обеспечить масштабную цифровизацию отрасли, которая коснется физических и организационных компонентов системы. Применение цифровых технологий на физическом уровне (в транспортных средствах и инфраструктурных объектах) обеспечит повышение эффективности и безопасности перевозочного процесса, а внедрение цифровых сервисов на организационном уровне позволит упростить взаимодействие клиентов, бизнеса и государственных органов. Вместе с тем, интеграция цифровых решений на физическом и организационном уровнях создаст основу для автоматизации бизнес-процессов всех участников рынка транспортно-логистических услуг, что повысит устойчивость их деятельности и снизит риски в сфере транспортной безопасности.

Поэтому при создании ЦДЦП целесообразно предусмотреть возможность интеграции таких платформ с государственными информационными системами. Это позволит участникам ЦП получать необходимые государственные и коммерческие сервисы и обмениваться юридически значимыми данными друг с другом и с органами исполнительной власти в цифровом формате. Например, взаимодействие ЦДЦП с государственной информационной системой «Электронные перевозочные документы» позволит участникам ЦП оформлять перевозочные и сопроводительные документы для всех видов транспорта, в том числе мультимодальные перевозочные документы, в электронном виде.



## Литература

1. Ларин, О.Н. Модель взаимодействия блокчейн-платформ для логистических экосистем / О.Н. Ларин. — Текст: непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. — 2021. — №9. — С. 26–29.
2. Онтологии киберфизических систем национального цифрового двойника Великобритании и BIM на примерах умных городов, железных дорог и других проектов / В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, А.А. Климов [и др.]. — Текст: непосредственный // International Journal of Open Information Technologies. — 2021. — Т.9, №3. — С. 91–130.
3. Рахманов, М.Л. Современные цифровые технологии и цифровой двойник / М.Л. Рахманов, А.В. Шишкин. — Текст: непосредственный // Качество и жизнь. — 2021. — №2 (30). — С. 57–59.

4. Сергеев, В. Проблема видимости цепи поставок и использование концепции Supply Chain Control Tower / В. Сергеев, И. Сергеев, К. Хлобыстова. – Текст: непосредственный // Логистика. – 2020. – №3 (160). – С. 35–43.
5. Цифровая железная дорога - ERTMS, BIM, GIS, PLM и цифровые двойники / В.П. Куприяновский, В.В. Аленьков, А.А. Климов [и др.]. – Текст: непосредственный // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т.13, №3. – С. 129–166.
6. Цифровая трансформация системы планирования на основе цифрового двойника / Е.А. Яковлева, И.А. Толочко, А.А. Ким, А.А. Черняева. – DOI 10.18334/се.15.7.112351. – Текст: непосредственный // Креативная экономика. – 2021. – Т.15, №7. – С. 2811–2826.
7. Цифровые двойники и системы дискретно-событийного моделирования / Д.Е. Намиот, О.Н. Покусаев, В.П. Куприяновский, М.Г. Жабицкий. – Текст: непосредственный // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т.9, №2. – С. 70–75.
8. A Digital Twin Framework for Business Transactional Processes in Supply Chains. Editor(s): Metin Türkay, Rafiqul Gani / Hector D. Perez, Satyajith Amaran, Esra Erisen, John M. Wassick, Ignacio E. Grossmann. – DOI 10.1016/B978-0-323-88506-5.50272-2. – Текст: непосредственный // Computer Aided Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 50. – Pp. 1755–1760.
9. Azevedo, S.G. Influence of Green and Lean Upstream Supply Chain Management Practices on Business Sustainability / S.G. Azevedo, H. Carvalho, S. Duarte and V. Cruz-Machado. – DOI 10.1109/TEM.2012.2189108. – Текст: непосредственный // IEEE Transactions on Engineering Management. 2012. – vol. 59. – №.4. – Pp. 753–765.
10. Cheng, Y. Cyber-physical integration for moving digital factories forward towards smart manufacturing: a survey. / Y. Cheng, Y. Zhang, P. Ji [et al.] – DOI 10.1007/s00170-018-2001-2. – Текст: непосредственный // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2018. – №97. – Pp. 1209–1221.
11. Ding, K. Defining a Digital Twin-based Cyber-Physical Production System for autonomous manufacturing in smart shop floors / K. Ding, F. T.S. Chan, X. Zhang [et al.]. – DOI: 10.1080/00207543.2019.1566-661. – Текст: непосредственный // International Journal of Production Research. – 2019. – №57(20). – Pp. 6315–6334.
12. Ivanov, D. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0 / D. Ivanov, A. Dolgui. – DOI 10.1080/09537287.2020.1768450. – Текст: непосредственный // Production Planning & Control. – 2021. – №32(9). – Pp. 775–788.
13. Ivanov, D. Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the «Supply Chain-as-a-Service» / D. Ivanov, A. Dolgui, B. Sokolov. – DOI 10.1016/j.tre.2022.102676. – Текст: непосредственный // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2022. – Vol. 160. – Pp. 102676.
14. Kamble, S. Digital twin for sustainable manufacturing supply chains: Current trends, future perspectives, and an implementation framework / S. Kamble, A. Gunasekaran, H. Parekh [et al.]. – DOI 10.1016/j.techfore.2021.121448. – Текст: непосредственный // Technological Forecasting and Social Change. – 2022. – Vol. 176. – 121448.
15. Quantum Machine Learning for 6G Communication Networks: State-of-the-Art and Vision for the Future / S. J. Nawaz, S. K. Sharma, S. Wyne, M. N. Patwary, M. Asaduzzaman. – DOI 10.1109/ACCESS.2019.2909490. – Текст: непосредственный // IEEE. – 2019. – Vol. 7. – Pp. 46317–46350.
16. Ruiz-Benítez, R. The lean and resilient management of the supply chain and its impact on performance / Rocío Ruiz-Benítez, Cristina López, Juan C. Real. – DOI 10.1016/j.ijpe.2018.06.009. – Текст: непосредственный // International Journal of Production Economics. – 2018. – Vol. 203. – Pp. 190–202.
17. Tiep, N. Knowledge mapping of digital twin and physical internet in Supply Chain Management: A systematic literature review / N. Tiep, H. D. Quang, V. N. Truong, Zh. You, Zh. Li. – DOI 10.1016/j.ijpe.2021.108381. – Текст: непосредственный // International Journal of Production Economics. – 2022. – Vol. 244. – Pp. 108381.
18. Transportation and logistics trends 2019 // Part of PwC's 22nd CEO Survey trend series. – Текст: непосредственный. – 2019. – 11 p.