

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛОГИСТИКЕ И УПРАВЛЕНИИ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК

Аналитический обзор

Под общей и научной редакцией *В.И. Сергеева*



ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ЭКОНОМИКИ

МОСКВА, 2020

УДК 658.7:004
ББК 65.291.5
Ц75

Авторский коллектив:

*В.В. Дыбская, В.И. Сергеев, Н.Н. Лычкина, Ю.А. Морозова,
И.В. Сергеев, И.М. Дутиков, П.А. Корниенко*

Под общей и научной редакцией *В.И. Сергеева*

Цифровые технологии в логистике и управлении цепями поставок: аналитический обзор [Текст] / В. В. Дыбская, В. И. Сергеев, Н. Н. Лычкина и др. ; под общ. и науч. ред. В. И. Сергеева ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. — 190, [2] с. — 500 экз. — ISBN 978-5-7598-2348-3 (в обл.). — ISBN 978-5-7598-2243-1 (e-book).

В аналитическом обзоре определены основные тенденции цифровизации цепей поставок и логистики в промышленности и торговле. Рассмотрены методологические аспекты цифровой трансформации цепей поставок. Выявлены перспективы и проблемы применения в логистике и управлении цепями поставок таких цифровых технологий, как блокчейн, интернет вещей, дополненная реальность, облачные сервисы, технологии анализа больших данных и предиктивная аналитика, роботы, дроны, беспилотные автомобили, 3D-печать. Также уделено внимание вопросам построения цифровых двойников, моделированию и реинжинирингу бизнес-процессов в цепях поставок.

Для абитуриентов, студентов и преподавателей экономических и технических вузов и факультетов, логистов, специалистов компаний по управлению цепями поставок.

УДК 658.7:004
ББК 65.291.59

Опубликовано Издательским домом Высшей школы экономики
<<http://id.hse.ru>>

doi: 10.17323/978-5-7598-2348-3
ISBN 978-5-7598-2348-3 (в обл.)
ISBN 978-5-7598-2243-1 (e-book)

© Дыбская В.В., Сергеев В.И.,
Лычкина Н.Н., Морозова Ю.А.,
Сергеев И.В., Дутиков И.М.,
Корниенко П.А., 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Определение основных тенденций цифровизации цепей поставок и логистики в промышленности и торговле	7
2. Методологические аспекты цифровой трансформации цепей поставок.	13
2.1. Цифровые двойники	13
2.2. Концепция Supply Chain Control Tower в УЦП	21
2.3. Устойчивость цепей поставок	36
3. Обзор перспективных цифровых технологий в логистике и УЦП	50
3.1. Дополненная реальность	50
3.2. Перспективы применения цифровых технологий анализа больших данных и предиктивной аналитики	66
3.3. Проблемы и перспективы использования технологии блокчейн	77
3.4. Интернет вещей (IoT — Internet of Things)	107
3.5. Облачные сервисы (Cloud Software/Services)	119
3.6. Роботы, дроны, беспилотные автомобили, 3D-печать	127
4. Моделирование и реинжиниринг бизнес-процессов в цепях поставок	151
4.1. Применение мультиагентных технологий для цифровизации логистики и цепей поставок (MASSC)	151
4.2. Компьютерное моделирование логистических бизнес-процессов и систем в цепях поставок. Дизайн и имитационное моделирование цепей поставок	158
Заключение	186
Авторы	188

Введение

Переход к цифровому производству и интернет-торговле обязывает по-новому посмотреть на логистику и управление цепями поставок (УЦП) как на инструменты управления цепями создания ценности и определить фокус изменений, которые должны произойти в них под влиянием перехода на киберпроизводство. Если принять во внимание перемены, уже обусловленные ИТ-технологиями, — изменения структуры компаний, границ компаний/секторов/отраслей экономики, набор ключевых компетенций, бизнес-моделей и бизнес-стратегий, то электронное УЦП (e-SCM) в этих реалиях приобретает стратегическое значение для объединения бизнес-процессов в единую инфраструктуру цифровой экономики нашей страны.

Необходимо развитие набора инновационных технологий, используемых в e-SCM, включающего RFID, Mobileapp, Big Data, Cloud Services, IoT, Blockchain, 3D Printing и другие цифровые технологии, а также новые инструменты для обеспечения прозрачности цепей поставок и аналитические решения и технологии, позволяющие облегчить автоматизацию процессов и повысить операционную эффективность. Крупнейшие мировые консалтинговые компании и системные интеграторы также отмечают взрывной рост применения новых цифровых технологий, которые в значительной степени будут определять будущее развитие логистики и УЦП.

Анализ отчетов по тенденциям развития логистики и УЦП на период до 2030 года крупнейших консалтинговых, аналитических и ИТ-компаний выявил следующие мировые тенденции, подтверждающие актуальность исследования развития цифровизации логистики и УЦП в РФ:

- Большие данные (Big Data) совместно с автоматизированными технологиями: Blockchain, IoT, AR/VR, ML, AI будут использоваться для повышения эффективности логистики.
- Применение больших данных изменит аналитику логистики. Усилится роль предиктивной аналитики и прогнозирования.

- Облачные сервисы будут поддерживать гибкую и динамичную (Agile) логистику.
- Интернет вещей позволит расширить логистический сервис.
- Чат-боты и роботы будут использоваться для управления большинством логистических операций.
- Рынок логистических роботов будет доминировать в 2020 году и далее.
- Все больше компаний будут искать собственные цифровые технологические решения для доставки на последней миле (Last-mile Logistics).
- Проблемы с автономной доставкой (автомобили без водителей) станут очевидными.
- Системы логистической безопасности и кибербезопасности будут главными приоритетами в сфере логистических технологий.
- Поставщики логистических услуг увеличат внедрение мобильных приложений.

Масштабная цифровизация, которая затронула в конечном счете не только все отрасли экономики нашей страны, но и социальную сферу, нуждается, на наш взгляд, в определенном осмыслении с позиций развития ее методологической основы, построения адекватного «каркаса» (программной платформы), позволяющего системно подойти к проблематике цифровых преобразований. То, что происходит сегодня с цифровой трансформацией отдельных процессов/операций, бизнес-единиц, предприятий, организаций и в целом цепей поставок в промышленности, торговле, сфере услуг, нельзя назвать иначе, как «цифровой хаос».

В действительности в любой цепи поставок сегодня применяется масса цифровых технологий, но решения по цифровизации выглядят скорее спонтанными, подверженными сиюминутным интересам или вызовам, чем стратегически выверенными. Кроме того, зачастую, возможности применяемых цифровых технологий/инструментов используются далеко не в полной мере, что обусловлено или недостаточным уровнем знаний и компетенций персонала, или сложностью технической/программной реализации.

В то же время сама методология цифровой трансформации, особенно применительно к логистике и управлению цепями поставок (УЦП), разработана недостаточно, несмотря на имеющиеся

ся работы зарубежных и отечественных специалистов в данной области. В частности, относительно редко используется проверенный международной практикой методологический подход на основе SCOR-модели.

В большинстве отраслей мировой экономики основными цифровыми технологиями, определяющими континуум цифровой среды e-SCM, являются Big Data (аналитика больших данных), IoT (интернет вещей), технология Blockchain (системы распределенного реестра), Cloud Services (облачные сервисы), Artificial Intelligence (искусственный интеллект), дополненная/виртуальная реальность (Augmented/Virtual Reality), Machine Learning (машинное обучение).

Сама процедура цифровой трансформации цепей поставок должна включать ряд проектных решений, связанных с формированием коммуникационной сетевой структуры (Multi Party Network), в частности с использованием технологии блокчейн, интегрированной системы планирования цепи поставок, экосистему цифровых двойников, а также цифровую платформу контроля и мониторинга событий в цепи поставок (Supply Chain Control Tower).

1. Определение основных тенденций цифровизации цепей поставок и логистики в промышленности и торговле

Основные тенденции развития мирового рынка логистики:

- глобализации деятельности компаний-клиентов;
- укрупнение логистических компаний за счет сделок по слияниям и поглощениям;
- рост роли информационных (цифровых) технологий в логистике и УЦП;

Таблица 1

Логистический мировой тренд-радар

Уровень	Социальные и бизнес-тренды	Технологические тренды
Высокий	Суперсетевая логистика Marketplace логистика Зеленая (энергосберегающая) логистика Цифровая логистика Omni-channel логистика	Беспилотные транспортные средства (дроны) Искусственный интеллект Автоматизация операций и роботы Интернет вещей Аналитика больших данных Облачные технологии
Средний	Смарт-контейнеризация Один размер партии отправки Разделенная экономика Ответственная и надежная логистика Исключительный сервис Цепь поставок свежих продуктов	3D-печать Блокчейн Дополненная реальность Беспроводные технологии нового поколения Автомобили без водителя Низкозатратные сенсорные технологии
Низкий	Grey Power-логистика Логистика метрополитена	Бионика в логистике Виртуальная реальность и цифровые близнецы

Источник: <www.dhl.com>.

- отход от специализированных услуг и концентрация на предоставлении законченных и комплексных логических решений в цепях поставок;
- интенсивное развитие интер- и мультимодальных перевозок;
- увеличение доли рынка 3PL-провайдеров.

Таблица 2

**Десятка крупнейших мировых 3PL-провайдеров
Рейтинг 2017***

	Компания	Страна (штаб-квартира)	2018 г. выручка, долл. США	2019 г. выручка, млн долл. США	Изменение за год, %	Комментарий
1	DHL Logistics	Германия	29 162	30 775	5,50	
2	Kuehne & Nagel	Швейцария	20 283	22 572	11,30	Приобрел Commodity Forwarders в июле 2017 г., Zet Farma и Ferlito Pharma Logistics в марте 2017 г.
3	DB Schenker Logistics	Германия	16 028	17 783	10,90	Логистическое подразделение Deutsche Bahn
4	C.H. Robinson Worldwide	США	11 705	13 503	15,40	Приобрел APC Logistics в августе 2016 г. и Milgrom and Co. в августе 2017 г.
5	DSV	Дания	10 063	11 355	12,80	
6	XPO Logistics	США	9 408	10 352	10,00	
7	UPS Supply Chain Solutions	США	6 793	7 981	17,50	Приобрел Marken в декабре 2016 г.
8	CEVA Logistics	Нидерланды	6 646	6 994	5,20	
9	Expeditors International	США	6 097	6 920	13,50	
10	J.B. Hunt	США	6 181	6 828	10,50	Приобрел Special Logistics в июле 2017 г.

Источник: <<https://www.3plogistics.com/>>.

Передовые позиции в цифровизации логистики и цифровой трансформации цепей поставок в мире играют 3PL-провайдеры. Крупнейшие мировые логистические провайдеры представлены в табл. 2.

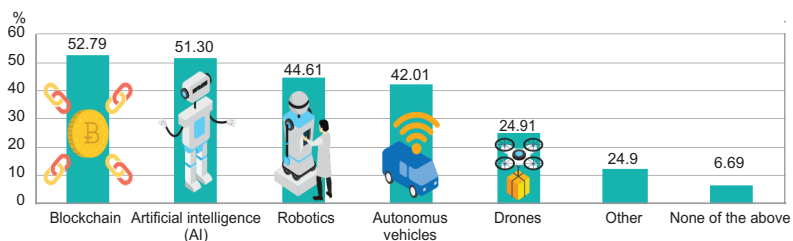


Рис. 1. Цифровые технологии, используемые крупнейшими 3PL-провайдерами

Источник: <www.3PLSummit.com>.

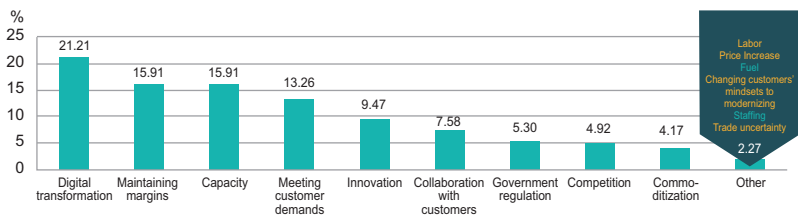


Рис. 2. Основные драйверы изменений на логистическом рынке

Источник: Global Logistics Report, 2018.

В результате проведенного системного анализа обзоров ведущих консалтинговых, аналитических и ИТ-компаний были выделены и систематизированы тренды как в общих направлениях развития логистики и УЦП в мире, так и в направлении их цифровизации.

10 мировых трендов логистики будущего:

1. Потребители потребуют более быстрых сроков и разнообразия вариантов доставки на «последней миле».
2. Компании локализуют строительство складских мощностей.
3. Улучшения транспортной инфраструктуры со стороны государства будут стимулировать развитие цифровой логистики.

4. Размываются границы, определяющие пик сезона покупок, что потребует большей гибкости от логистики за счет предиктивной аналитики и продвинутого прогнозирования.

5. Компании будут стремиться улучшить отношения с 3PL-провайдерами.

6. Переменные логистические операции станут стандартом.

7. Технологии NEW Waves (блокчейн, интернет вещей, искусственный интеллект, виртуальная реальность, машинное обучение) потребуют переоценки логистической стратегии.

8. Специализированные магазины останутся актуальными.

9. Клиенты будут требовать все большей прозрачности логистических операций.

10. Открытость логистики для новых цифровых технологий возрастет.

Ключевыми драйверами, определяющими развитие логистики и УЦП, являются:

- Повышение точности прогнозирования спроса.
- Внедрение инновационных стратегий логистических каналов распределения для повышения конкурентоспособности.
- Повышение качества логистического сервиса и прослеживаемости цепи поставок.
- Быстрая адаптация цепей поставок после слияния или поглощения компаний, входящих в логистическую сеть.
- Улучшение сквозной прозрачности цепи поставок.
- Повышение эффективности ввода новых продуктов (брендов).
- Цифровизация логистики и цепей поставок, внедрение адаптивного УЦП для быстро меняющегося портфеля заказов.
- Балансировка затрат и уровня обслуживания клиентов цепи поставок.

Мировые тренды в управлении цепями поставок:

1. Цифровизация УЦП, внедрение e-SCM (технологии: Big Data, Block Chain, Internet of Things, Cloud Services, Mobileapps, Artificial Intelligence, RFID, 3D Printing, Industry 4.0 (Robotics), Omni-Channel Logistics, а также дроны, беспилотные транспортные средства, системы распознавания, навигации, сенсоры и т.п.).

2. Сегментация цепей поставок по требованиям рынка.

3. Прозрачность, прослеживаемость цепи поставок и согласованность изменений.
4. Ориентированность на клиента.
5. Использование мощных аналитических инструментов принятия оптимальных логистических решений в цепях поставок.
6. Динамичность, гибкость и приспособляемость цепи поставок.
7. Повышение устойчивости и надежности цепей поставок.

Наиболее перспективные цифровые технологии в логистике и УЦП:

- Big Data (большие данные).
- Blockchain (технология распределенных реестров).
- Mobile apps for patients and care professionals (Мобильные приложения для профессионалов).
- 3D Printing (3D-печать).
- Industry 4.0 (Robots) and the Internet of Thing (индустрия 4.0 — роботы — интернет вещей).
- Artificial Intelligence (искусственный интеллект).
- Smart industry/manufacturing (цифровизация производства).
- Predictive Analytics (предиктивная аналитика).
- Machine Learning (машинное обучение).
- Augmented/Virtual Reality (AR/VR) (дополненная/виртуальная реальность).

Проанализированы отчеты по тенденциям развития логистики и УЦП до 2030 года следующих компаний:

- *Pricewaterhouse Coopers (PwC)*;
- *Accenture*;
- *Deloitte*;
- *Gartner Research*;
- *AMR Research*;
- *Forrester Research*;
- *McKinsey*;
- *KPMG*;
- *IBM*;
- *Oracle*;
- *SAP AG*;
- *Logy Pharma*;

- *Eyefortransport (eft);*
- *DHL;*
- *Deutsche Bahn Engineering & Consulting;*
- *e2Open;*
- *Contralant;*
- *WBR Insights;*
- *Juniper Research и др.*

2. Методологические аспекты цифровой трансформации цепей поставок

2.1. Цифровые двойники

Важную роль в цифровой трансформации цепей поставок играют цифровые двойники (Digital Twin — DT). По определению компании Gartner:

Цифровой двойник — это цифровая копия физических активов (физических двойников), процессов, людей, мест, систем и устройств, которые могут использоваться для различных целей... цифровые двойники объединяют искусственный интеллект, машинное обучение и программный анализ с графами пространственных сетей для создания живых цифровых имитационных моделей, которые обновляются и меняются по мере изменения их физических аналогов¹.

Технологии имитационного моделирования существуют и применяются для этих целей уже на протяжении десятилетий, но теперь идеология моделирования включает все новые цифровые технологии. Цифровые двойники объединяют искусственный интеллект, машинное обучение и программный анализ с графами пространственных сетей для создания живых цифровых имитационных моделей, которые обновляются и изменяются по мере изменения их физических аналогов. Ключевые технологии DT включают аналитику; машинное обучение; виртуальную, дополненную и смешанную реальности; планирование ресурсов предприятия; управление жизненным циклом продукта; системное моделирование и симуляция.

Видный аналитик Дэвид Бартон отмечает:

Растущий импульс вокруг системного мышления в планировании цепей поставок породил «цифрового двойника» — окончательного

¹ Aronow S., Ennis K., Romano J. Login Page 2018 [Electronic source]. <Gartner.com.>; <<https://www.gartner.com/document/3875506?ref=solrAll&refval=212943992&qid=>>>.

планировщика сценариев «что, если». Цифровые двойники помогают компаниям минимизировать риски путем точного тестирования устойчивости сложных многоуровневых глобальных цепей поставок².

Комбинация моделирования, оптимизации и анализа данных составляет полный набор технологий для создания цифрового двойника цепи поставок — модели, которая всегда представляет состояние цепи в режиме реального времени. В каждый момент времени цифровой двойник представляет собой физическую цепь поставок с фактическими данными о транспортировке, запасах, спросе и мощностях (производственных и логистических), поэтому может использоваться для планирования и принятия решений в режиме реального времени.

В конце 2016 года компания Gartner идентифицировала цифровые двойники в своем списке «Топ-10 стратегических технологических трендов на 2017 год»³, назвав их «трансформационной» технологией и предсказав, что в течение трех-пяти лет сотни миллионов, в конечном счете миллиарды, вещей будут представлены цифровыми двойниками. Согласно прогнозам IDC, они являются неотъемлемой частью цифрового преобразования, которое, по оценкам IDC, к 2020 году будет стоить 2 трлн долл. в год⁴.

Цифровые двойники продолжают развиваться, что предоставляет все больше возможностей для использования данных, которые они могут отслеживать и генерировать в различных бизнес-сценариях. Технологии больших данных и имитационное моделирование объединяются в ДТ. К сожалению, многие цепи поставок не имеют доступа к данным в реальном времени и системам оперативного планирования, которые им необходимы для эффективного прогнозирования, планирования и удовлетворения постоян-

² *Бартон Д.* Прогнозы цепочки поставок на 2020 год: неопределенность требует устойчивости / блог Tools Group, 10 декабря 2019 года.

³ <<https://www.olly.ru/blog/top-10-strategicheskikh-it-tehnologij-2017-poversii-gartner/>>.

⁴ *Howells R.* SAP Brand Voice: How Digital Twins Can Ensure Your Best-Laid Supply Chain Plans Never Go Awry. 2018 [Electronic source]. <Forbes.com.>; <<https://www.forbes.com/sites/sap/2018/09/26/how-digital-twins-can-ensure-your-best-laid-supply-chain-plans-never-go-awry/#77abf575eed7>>.

но растущего спроса клиентов. Используя технологию интернета вещей (IoT) и создавая цифровое зеркало своих операций в цепи поставок, можно получить представление, необходимое для превращения бизнеса в интеллектуальное предприятие.

Это обеспечит получение достоверной информации и понимание, необходимые для проведения непрерывного планирования в режиме реального времени для последовательной корректировки планов и удовлетворения потребностей клиентов⁵.

Что именно можно воспроизвести с помощью цифровых двойников, чтобы улучшить текущие процессы планирования:

- *Потребности клиентов:* сбор информации о клиентах в режиме реального времени из структурированных и неструктурированных данных даст представление о реальном спросе. Какие продукты в тренде и где? Какие события происходят, что повлияет как на спрос, так и на доставку? Как прогноз погоды повлияет на потребность в определенных продуктах? Вся эта информация имеет решающее значение для получения полного обзора потребностей клиентов.
- *Производство:* сколько вы сейчас производите? Сколько вы способны производить? Какие мощности у вас имеются на собственных заводах или заводах подрядчиков? Как вы можете скорректировать свои текущие планы? Создание цифрового двойника вашего производства позволит вам ответить на все эти сложные вопросы.
- *Логистика:* цифровые двойники производственных процессов, складских операций и процессов транспортировки дают представление о ваших существующих и планируемых запасах, а также о том, где их найти. И вы уверенно можете лучше планировать — создавать ли дополнительные запасы, переназначать существующий текущий запас или даже перенаправлять запасы в пути в новое место назначения.

На основе этой информации в реальном времени, а не устаревшей истории прогнозов, вы можете обновить свои прогнозы в процессе планирования, чтобы лучше предвидеть растущие по-

⁵ Janakiram M.S.V. Microsoft Enhances Its IoT And Edge Platforms With Digital Twins and a SaaS Offering. 2018 [Electronic source]. <Forbes.com.>; <<https://www.forbes.com/sites/janakirammsv/2018/09/24/microsoft-enhances-its-iot-and-edge-platforms-with-digital-twins-and-a-saas-offering/#748cae4c38bf>>.

требности ваших клиентов. SC-менеджеры каждый день принимают важные, далеко идущие решения. Их цепи поставок обширны и требовательны, они постоянно сталкиваются с новыми претензиями клиентов и постоянно усиливающейся конкуренцией. В этой сложной обстановке наиболее полезным оружием менеджера является информация и понимание. Благодаря сложным аналитическим инструментам интернета вещей (IoT) и Industry 4.0 эта информация теперь всегда у нас под рукой: профессионалы могут отслеживать системы в режиме реального времени, включая все варианты и несоответствия для широкого поля зрения обзора. Датчики IoT на оборудовании и устройствах с высокой точностью собирают большие объемы данных, не прерывая ежедневные рабочие операции.

Цифровой двойник цепи поставок использует эти данные в качестве детальной основы, из которой можно создать полное, сквозное отображение процессов в цепи поставок (в частности, логистических). Это позволяет менеджерам сравнивать действительную систему, как есть, с гипотетической системой, разработанной для достижения конкретных желаемых целей, результатов и эффективности. Затем параллельный анализ двойников позволяет SC-командам решать возникающие проблемы, быстро и эффективно повышая общую производительность цепи поставок. Цифровые близнецы могут быть построены так, чтобы включать зеркальное отображение на основе данных о производстве и потребностях клиентов. Эти системы могут обеспечить практически неограниченное понимание функционирования цепи поставок в режиме реального времени, в частности ответить на ключевые вопросы, такие как:

- Сколько запасов у нас есть, где они расположены и какова должна быть политика их пополнения?
- Какие продукты пользуются спросом у покупателей и где?
- Работает ли наше оборудование так, как должно, и нужно ли нам планировать техническое обслуживание?
- Будут ли на спрос или доставку влиять погода или другие события?
- Сколько производственных мощностей доступно, и могут ли они удовлетворить постоянный или прогнозируемый спрос?
- Что мы можем сделать, чтобы приспособиться к рискованным событиям в цепи поставок и реагировать на текущие условия?

- Есть ли какой-либо запас, который должен быть перенаправлен, переназначен или дополнительно поддержан?

Цифровые двойники отвечают на все эти вопросы в режиме реального времени с точностью, превосходящей точность традиционных методов прогнозирования.

Возможности цифровых близнецов для УЦП

Благодаря непосредственному руководству, предоставленному цифровым партнером, фокусные компании могут управлять стратегиями цепей поставок с повышенной уверенностью, гибкостью и эффективностью. В этом разрезе цифровые двойники позволяют:

- Получить целостный взгляд на процессы в цепи поставок, чтобы разработать комплексную политику в отношении рисков и надежности.
- Оптимизировать условия партнерства для синхронизации сотрудничества во всей сетевой структуре цепи поставок.
- Разработать программы технического обслуживания, чтобы обеспечить бесперебойную работу транспортных средств, производственного и другого оборудования.
- Оптимизировать системы, чтобы упростить продукты, активы и движение для обеспечения максимальной производительности.
- Управлять инновациями: разрабатывать новые бизнес-модели, создавать предложения и продукты, совершенствовать услуги и конкурировать на следующем уровне.
- Быстро реагировать и быстро передавать данные в реальном времени; SC-менеджеры могут принимать решения быстро и точно.
- Точно знать, чего хотят ваши клиенты, и разрабатывать уникальные портфели услуг и продуктов, чтобы улучшить существующий опыт.

Интерес к постоянному совершенствованию УЦП мотивировал разработку цифровых инструментов для автоматизации бизнес-задач. В настоящее время компании должны постоянно адаптироваться к изменяющимся условиям в отношении управления цепями поставок. Однако отсутствие доступных данных в реальном времени и гибких систем планирования затрудняет эту адаптацию. Нынешняя ситуация показывает, что все больше и больше компаний будут разрабатывать и внедрять собственные цифровые двой-

ники в бизнес-процессы. Digital Twins — это новые элементы решений для обеспечения цифрового мониторинга и контроля в реальном времени или автоматического принятия решений с более высокой эффективностью и точностью.

Список литературы

Andriole S. Gartner's 10 TECHNOLOGY Trends for 2019: The Good, the Obvious and the Missing. 2018. <Forbes.com>.

Aronow S., Ennis K., Romano J. Login Page. 2018 [Electronic source]. <Gartner.com>; <<https://www.gartner.com/document/3875506?ref=solrAll&refval=212943992&qid=>>>.

Ashrafiyan A., Pettersen O.-G., Kuntze K.N. et al. Full-Scale Discrete Event Simulation of an Automated Modular Conveyor System for Warehouse Logistics // International Conference on Advances in Production Management Systems, APMS. 2019. Vol. 567. P. 35–42.

Baruffaldi G., Accorsi R., Manzini R. Warehouse management system customization and information availability in 3pl companies: A decision-support tool // Industrial Management & Data Systems. 2019. Vol. 119 (2). P. 251–273.

Boschert S., Rosen R. Digital twin — the simulation aspect // Mechatronic Futures. Springer, Cham. 2016. P. 59–74.

Brenner B., Hummel V. Digital Twin as Enabler for an Innovative Digital Shopfloor Management System in the ESB Logistics Learning Factory at Reutlingen — University // Procedia Manufacturing. 2017. Vol. 9. P. 198–205.

Bučková M., Skokan R., Fusko M., Hodoň R. Designing of logistics systems with using of computer simulation and emulation. 13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport, TRANSCOM. 2019. Vol. 40. P. 978–985.

Defraeye T., Tagliavini G., Wu W. Digital twins probe into food cooling and biochemical quality changes for reducing losses in refrigerated supply chains // Resources, Conservation and Recycling. 2019. Vol. 149. P. 778–794.

Garman N. Same Data, New Insight: Employing Digital Twins for Supply Chain Success. <<https://www.thomasnet.com/insights/same-data-new-insight-employing-digital-twins-for-supply-chain-success/>>.

Grau M., Gresens C., Vettermann S., Wagner L. Enabling the digital thread for shipbuilding and shipping. Royal Institution of Naval Architects — 19th International Conference on Computer Applications in Shipbuilding. 2019.

Harrison R. Dynamically Integrating Manufacturing Automation with Logistics. 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA. 2019. P. 21–22.

Howells R. SAP Brand Voice: How Digital Twins Can Ensure Your Best-Laid Supply Chain Plans Never Go Awry. 2018 [Electronic source]. <Forbes.com>; <<https://www.forbes.com/sites/sap/2018/09/26/how-digital-twins-can-ensure-your-best-laid-supply-chain-plans-never-go-awry/#77abf575eed7>>.

Howells R. SAP Brand Voice: Should Businesses Be Scared To Meet Their Digital Twin? 2018 [Electronic source]. <Forbes.com>; <<https://www.forbes.com/sites/sap/2018/02/28/should-businesses-be-scared-to-meet-their-digital-twin/#1464c02063a1>>.

Howells R. SAP Brand Voice: The Digital Twin Effect: Four Ways It Can Revitalize Your Business. 2018 [Electronic source]. <Forbes.com>; <<https://www.forbes.com/sites/sap/2018/06/22/the-digital-twin-effect-four-ways-it-can-revitalize-your-business/#7c538ff55835>>.

Howells R. SAP Brand Voice: Thought-Leader Roundtable: Three Experts Discuss Digital Twins. 2018 [Electronic source]. <Forbes.com>; <<https://www.forbes.com/sites/steveandriole/2018/10/22/gartners-10-technology-trends-for-2019-the-good-the-obvious-and-the-missing/#7b5385cb5999>>; <<https://www.gartner.com/document/3892678?ref=TypeAheadSearch&qid=cbd88ad-05a3c1ecbe9ee86>>.

Ivanov D., Dolgui A., Das A., Sokolov B. Digital Supply Chain Twins: Managing the Ripple Effect, Resilience, and Disruption Risks by Data-Driven Optimization, Simulation, and Visibility // International Series in Operations Research and Management Science. 2019. Vol. 276. P. 309–332.

Kaewunruen S., Lian Q. Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 228. P. 1537–1551.

Kavka L., Kodym O., Cempírek V. Smart units in control of logistics processes. 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM. 2018. Vol. 18 (2.1). P. 701–708.

Korth B., Schwede C., Zajac M. Simulation-ready digital twin for realtime management of logistics systems. IEEE International Conference on Big Data. 2018. P. 4194–4201.

Kritzinger W., Karner M., Traar G. et al. Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification // IFAC-Papers OnLine. 2018. Vol. 51 (11). P. 1016–1022.

Kuehn W. Digital twins for decision making in complex production and logistic enterprises // *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*. 2018. Vol. 13 (3). P. 260–271.

Li Q., Liu A. Big data driven supply chain management // *Procedia CIRP*. 2019. Vol. 81. P. 1089–1094.

Marmolejo-Saucedo J.A., Hurtado-Hernandez M., Suarez-Valdes R. Digital Twins in Supply Chain Management: A Brief Literature Review. 2nd International Conference on Intelligent Computing and Optimization, ICO. 2019. Vol. 1072. P. 653–661.

Mazzei D., Baldi G., Fantoni G. et al. A Blockchain Tokenizer for Industrial IOT trustless applications // *Future Generation Computer Systems*. 2020. Vol. 105. P. 432–445.

Min Q., Lu Y., Liu Z., Su C. et al. Machine learning based digital twin framework for production optimization in petrochemical industry // *International Journal of Inf. Manag.* 2019. P. 1–18.

Negri E., Fumagalli L., Macchi M. A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems // *Procedia Manuf.* 2017. Vol. 11. P. 939–948.

Orozco-Romero A., Arias-Portela C.Y., Marmolejo-Saucedo J.A. The Use of Agent-Based Models Boosted by Digital Twins in the Supply Chain: A Literature Review. 2nd International Conference on Intelligent Computing and Optimization, ICO. 2019. Vol. 1072. P. 642–652.

Padovano A., Longo F., Nicoletti L., Mirabelli G. A digital twin based service oriented application for a 4.0 knowledge navigation in the smart factory. *IFAC-Papers OnLine*. 2018. Vol. 51. P. 631–636.

Pan Y., Zhang K., Qu T. et al. Digital twin-driven port hinterland logistics synchronization optimization. 48th International Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE. 2018. Vol. 15.

Payne T. Supply Chain Brief: Digital Planning Requires a Digital Supply Chain Twin. *Login Pag.* 2018 [Electronic source]. <Gartner.com>.

Stark R., Fresemann C., Lindow K. Development and operation of digital twins for technical systems and services // *CIRP Ann.* 2019. Vol. 68. P. 129–132.

Tao F., Cheng J., Qi Q. et al. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data // *International Journal Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 94 (9–12). P. 3563–3576.

Tolstykh T., Shkarupeta E., Savon D. et al. Digital transformation of managerial, technological and logistical processes based on formation of ecosystem of digital twins for individual systems. 33rd International Business Information Mana-

gement Association Conference, IBIMA 2019. Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. P. 7751–7758.

Venkatapathy A.K.R., Bayhan H., Zeidler F., Ten Hompel M. Human machine synergies in intra-logistics: Creating a hybrid network for research and technologies. Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2017. P. 1065–1068.

Wilkinson G. The Gartner Supply Chain Executive Conference — anyLogistix Supply Chain Optimization Software. 2018 [Electronic source]. <Anylogistix.com>; <<https://www.anylogistix.com/resources/blog/the-gartner-supply-chain-executive-conference/>>.

Zheng P., Wang H., Sang Z. et al. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives // *Front. Mech. Eng.* 2018. Vol. 13 (2). P. 137–150.

Zheng Y., Yan S., Chen H. An application framework of digital twin and its case study // *Journal Ambient Intell. Hum. Comput.* 2018. Vol. 10. P. 1141–1153.

Zhou D., Qu T., Zhang K. et al. Digital twin driven decision-making architecture, model and method for synchronized production-transportation-storage system in industrial park // *Computer Integrated Manufacturing Systems*. 2019. Vol. 25 (6). P. 1576–1590.

Zhuang C., Liu J., Xiong H. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. *Int // Journal Adv. Manuf. Technol.* 2018. Vol. 96. P. 1149–1163.

2.2. Концепция Supply Chain Control Tower в УЦП

За последние несколько лет в УЦП, пожалуй, ни одна идея не вызвала столь большой интерес у широкого круга специалистов, как концепция Control Tower. Введите в поисковике Google словосочетание «Supply Chain Control Tower» (SCCT) и вы получите около полутора миллионов результатов. Как только не переводят это словосочетание: и «контрольная башня», и «диспетчерский центр», и «центр управления», и «диспетчерская вышка» цепи поставок и т.п. На наш взгляд, ни одно из них не отражает суть этой идеологии, поэтому мы будем в данной работе придерживаться английского оригинала.

Что же стоит за этим достаточно новым в теории УЦП понятием?

По определению всемирно известной консалтинговой компании Capgemini:

Control Tower цепи поставок — это центральный хаб с продвинутыми технологиями, организационной структурой и процессами, необходимыми для сбора и использования данных, обеспечивающими улучшенную видимость цепи поставок для принятия краткосрочных и долгосрочных решений, которые соответствуют ее стратегическим целям⁶.

Концепция Supply Chain Control Tower разворачивалась еще до начала нового тысячелетия — и эта идея поначалу казалась очевидной. Часто употребляется сравнение с диспетчерской вышкой аэропорта, которая визуальнo контролирует и управляет использованием ресурсов, находящихся под ее контролем (взлетно-посадочными полосами, воздушными судами, воротами и воздушным пространством), посредством наблюдения и контроля за самолетами, которые должны либо прибыть, либо ждать (в процессе), либо вылететь. При этом самолеты вместе с пассажирами и грузом функционируют как «продукты и детали» в цепи поставок. Таким образом, если мы расширим эту аналогию, Control Tower цепи поставок должна предоставить инструменты для мониторинга и управления ее ресурсами (местами погрузки/разгрузки, складами, транспортом, производственными мощностями) посредством контроля/управления запасами и другими ресурсами цепи поставок. Ближайшим аналогом «рейса» будет запланированная маршрутная квитанция или отгрузка (против факта продажи или заказа на закупку). При этом ожидается, что Control Tower, по крайней мере в качестве отправной точки, будет местом (возможно, приложением, запущенным в корпоративной интрасети, возможно, физическим местом с мониторами), где люди смогут просматривать на дисплее ожидаемые входящие поступления, а клиенты смогут видеть отгрузки, которые должны быть сделаны, производственные заказы и наличие запасов в процессе инвентаризации.

Control Tower обычно иллюстрируют как высокотехнологичный диспетчерский центр (круглая башня/комната или центр управления) с большими экранами, на которых отображается актуальная онлайн-информация о сквозной (end-to-end/E2E) цепи

⁶ Capgemini Consulting, “Global Supply Chain Control Towers”. Available at: <<http://www.capgemini.com/resources/global-supplychain-control-towers>>.

поставок, выдаются предупреждения о проблемах (исключительных ситуациях) в цепи поставок в реальном времени, что позволяет диспетчерам/планировщикам принимать скоординированные решения по управлению материальными и информационными потоками в цепи.

Возможности Control Tower призваны помочь компаниям управлять многоуровневой, сквозной цепочкой создания стоимости от закупки сырья до производства готовой продукции и доставки ее дистрибьюторам, ритейлерам и/или другим клиентам.

Компания Gartner рассматривает возможности Control Tower как результат объединения людей, процессов и организационной структуры, которым способствуют соответствующие комбинированные технологические и информационные элементы⁷. К ним относятся, например, анализ цепочки поставок на основе больших данных и принятие решений с различными уровнями детализации и временными горизонтами в сочетании с искусственным интеллектом и определенной степенью автоматизации. Существует два традиционных предложения: планирование совместной работы и понимание исполнения операций в цепи поставок.

Идеология Control Tower — это, по сути, продолжение и развитие известной концепции-технологии SCEM (Supply Chain Event Management) — Управления событиями в цепях поставок⁸.

Основная цель SCEM — создание и функционирование определенного контрольного «механизма» управления событиями в цепи поставок, в особенности исключениями (т.е. нарушениями нормального протекания процессов), в динамичной окружающей среде. Эта технология поддерживает функционирование цепей поставок в разрезе эффективности, надежности и безопасности. SCEM в настоящее время воспринимается как управленческая концепция, информационная технология и компонент программного обеспечения в системах ERP/SCM-класса и как часть Control Tower.

По определению компании AMR Research:

SCEM — это приложение (IT), которое поддерживает процессы контроля для управления событиями внутри и между компаниями

⁷ <www.gartner.com>.

⁸ Подробнее см.: *Сергеев В.И.* Управление цепями поставок: учебник для бакалавров и магистров. М.: Юрайт, 2014. 479 с.

*ми в цепи поставок. Это позволяет отслеживать процессы в цепи поставок, улучшая прозрачность процессов, и предупреждать контрагентов цепи о возможных критических ситуациях*⁹.

Системы класса SCEM предназначены для выявления нарушений и отклонений в выполнении отдельных процессов (работ, операций) в цепях поставок, связанных, например, с нарушением графика доставки из-за поломки транспортного средства, превышением уровня страхового запаса, отклонением в выполнении регламентов производственных процессов и т.д. В случае возникновения отклонения SCEM-система идентифицирует возникшие нестандартные ситуации в цепи поставок и оповещает SC-менеджера о причинах и последствиях нарушений.

Современные цепи поставок (особенно глобальные) функционируют сегодня в достаточно хаотичной и рискованной окружающей среде, поэтому фокусные компании ищут приемлемые технологии, которые обеспечивали бы им контроль основных параметров E2E цепи поставок в реальном масштабе времени, а также предиктивный анализ возможных рисков ситуаций для быстрого реагирования. Недавно проведенный компанией Deloitte опрос топ-менеджеров 600 промышленных и торговых компаний¹⁰ показал, что 63% из них очень обеспокоены возросшими рисками в расширенных цепях поставок, а также отсутствием должной межорганизационной координации между контрагентами цепи, которые затрудняют эффективное управление рисками.

Еще одной причиной повышенного интереса топ-менеджмента к методологии Control Tower является увеличение сложности цепей поставок и широкое применение концепции аутсорсинга. Особенно это касается крупных компаний, холдингов, ТНК, ФПГ и т.п. Многие из таких компаний совсем недавно были вертикально интегрированными, но усиление конкуренции и фокус на снижение затрат заставили их переходить на распределенные сетевые структуры с большой долей аутсорсинга не только логистических и торгово-посреднических операций, но и производства. При этом, естественно, уменьшилась степень контроля за бизнес-процессами и состоянием объектов инфраструктуры

⁹ Advanced Market Research GmbH. <www.amr-research.com>.

¹⁰ Deloitte Consultig, "The Ripple Effect", 2013, available at: <http://www.deloitt.com/view/en_US/us/Services/consultig/Strategy-Operatins/09e4439a0e17c310VgnVCM1000003256f70aRCRD.htm>.

цепей поставок, которые были отданы на аутсорсинг, возросли риски и неопределенность бизнес-среды.

Кроме того, стандартные ИТ-системы управления предприятия, такие как ERP, MRP II и др., были разработаны для планирования, поддержки и локальной интеграции традиционных бизнес-функций внутри отдельной компании. При этом каждая компания — контрагент цепи поставок — вынуждена сама разрабатывать планы продаж, производства и прогнозировать спрос, используя доступную ей локальную информацию. Это, в свою очередь, ограничивает возможность глобальной оптимизации цепи поставок и нахождения приемлемого баланса «затраты — сервис». Даже широко используемые сегодня технологии интегрированного планирования и управления запасами типа S&OP, CPFR, VMI¹¹ не могут обеспечить координацию и оптимизацию решений в E2E цепи поставок. По данным One Network Enterprises¹², средний мировой производитель продукции FMCG имеет около 150 ИТ-систем в своей цепи поставок, однако постоянно испытывает проблемы с координацией, интеграцией и обеспечением видимости вдоль всей цепи.

Отсутствие видимости (прозрачности) всей (E2E) цепи поставок в настоящее время является фактом, и по прогнозам компании Gartner¹³ такая ситуация сохранится в обозримом будущем: по крайней мере, к концу 2020 года ожидается, что только около 20% компаний-лидеров из списка «Fortune Global 500» будут иметь E2E прозрачность своих цепей поставок. В этом плане ей вторит компания Accenture¹⁴, исследования которой показывают, что детальное знание операций в цепи поставок поддерживается только в местном масштабе, в то время как никто не знает о вариативности операций по всей цепи. Это не позволяет выявить коренные причины возникающих проблем и риски, особенно на ранних стадиях выполнения процессов, чтобы предпринять эффективные действия по их разрешению.

Таким образом, если вы смотрите на цепь поставок с позиций фокусной компании или контрагента, то она является для вас дисфункциональной средой. Несмотря на огромные инвестиции в

¹¹ Подробнее см.: *Сергеев В.И.* Указ. соч.

¹² <www.onenetwork.com>.

¹³ Gartner “Predicts 2018: Collaboration, Cloud and Evolving Strategies will Drive Global Supply Chain”, available at (gated): <www.gartner.com>.

¹⁴ Federal Solutions: Build a Control Tower to Handle Your Supply Chain Traffic, Accenture, 2016.

SCM-технологии, основные KPI цепи поставок: уровень обслуживания, Out-of-stock, длительность логистических циклов, оборачиваемость запасов остаются в течение последних десяти лет практически на том же уровне.

Во многом именно эти указанные причины привели к появлению инструментария Control Tower.

Методология и технологические инструменты Control Tower сегодня находятся на переднем крае SCM-решений не только крупных системных интеграторов типа SAP и Oracle, но и недавно никому не известных таких аналитических и IT-компаний, например, как E2Open, One Network, Kinaxis, Elementum и др. Основные поставщики Supply Chain Control Tower (SCCT)-решений декларируют, что их продукты позволяют обеспечить сквозную (E2E) видимость цепи поставок, ликвидировать непроизводительные задержки выполнения заказов клиентов в цепи, контролировать состояние инфраструктурных объектов каждого контрагента, регистрировать каждую транзакцию и событие в цепи, быстро сообщать планировщикам о нарушениях и отклонениях от заданных параметров прогнозов спроса и т.д.

Ядром концепции Control Tower является обеспечение видимости (прозрачности) цепи поставок.

Видимость цепи поставок (Supply Chain Visibility) — все аспекты, отражающие, как контрагенты получают и обрабатывают данные для извлечения критической информации об уровне исполнения заказов в цепи поставок. Это обеспечивает единое пространство для отслеживания информации, параметров материальных потоков и/или стоимости в процессе мониторинга ключевых процессов в цепях поставок, например, состояние запасов, статус груза в пути и выполнения заказа в реальном времени на основе анализа фактических данных.

Обеспечение видимости цепи поставок означает измерение и контроль эффективности состояния всей цепи в четырех ключевых областях:

- 1 — **динамичность (agility)**, определяется как способность изменять процессы цепи поставок, цели, партнеров, мощности и другие значимые активы с минимальной задержкой или с учетом нежелательных факторов.
- 2 — **устойчивость (resilience)**, определяется как способность противостоять неизвестному и неконтролируемому событию с минимальным влиянием на операции, будь то по величине или продолжительности.

3 — **надежность (reliability)**, измеряется способностью выполнять обязательства по качеству, своевременности, стоимости, доступности, уровню обслуживания и т.д., которые являются основными требованиями к эффективности цепи поставок.

4 — **быстрая реакция (responsiveness)**, определяется как способность собирать информацию и адаптироваться к изменениям в окружающей среде, включая изменения в спросе, мощностях объектов логистической/производственной инфраструктуры, нормативах, параметрах конкурентной среды или любого другого аспекта, который может потенциально влиять на ценность, доставляемую клиенту цепью поставок.

Эволюция концепции Control Tower и примеры реализации

Многие компании уже реализовали или находятся в процессе реализации стратегии повышения видимости цепи поставок. Однако эти решения отражают разные уровни зрелости. Уровень зрелости конкретного решения по управлению видимостью определяется соответствующими инструментами, процессами и навыками людей, участвующих в реализации данных процессов. При этом, как правило, выделяются три фазы достижения соответствующих уровней зрелости процессов при построении SCCT:

Фаза 1

Первая фаза — рудиментарный уровень. Акцент делается на достижении операционной видимости цепи поставок, основанной на таких данных, как статус отгрузки и/или уровень запасов. Объем решений обычно ограничен одним или двумя процессами, такими как исходящие или входящие потоки операционной логистики, в зависимости от стратегического плана. Важность того или иного инструмента операционной видимости определяется технологиями сбора данных. Возможности персонала сосредоточены также на операционном уровне.

Фаза 2

Вторая фаза фокусируется на исследовании статуса поставок через несколько звеньев цепи и отслеживании проблем, возникающих между ними. Эта сфера объединяет все процессы, связанные с входящими и исходящими потоками, управляемыми логистикой. Инструменты контроля обеспечивают оповещения для анализа исключений и рисков событий в цепи. Эти приложения (SCEM) вносят в базовые отчеты и банк знаний для реализа-

ции инструментов аналитики и технологий поддержки принятия решений по управлению рисками. Контрагенты цепи поставок обладают способностью активно воздействовать на потенциальные проблемы в цепи поставок.

Фаза 3

Третья фаза — продвинутый этап, известный как *предиктивная видимость*: фокусируется на алгоритмах обучения для прогнозирования потенциальных проблем и генерирования сигналов для оценки предстоящих событий. Эти решения набирают все большую популярность в разрезе обеспечения проактивного мониторинга состояния цепи поставок с помощью систем поддержки принятия решений. Этот тип видимости полезен в краткосрочном периоде, предоставляя пользователям информацию об операциях цепи поставок в режиме реального времени. Такая видимость также предоставляет улучшенные возможности планирования и позволяет контрагентам эффективнее выполнять лучше тактические или стратегические решения по оптимизации цепи поставок.

До недавнего времени Control Tower цепи поставок использовались только для обеспечения видимости непосредственных торговых партнеров цепи. Но с развитием мультиэшелонированных сетей (Multi-Party Network), ориентированных на потребителя, усовершенствованные Control Tower теперь обеспечивают видимость в реальном времени, совместную работу и мощные возможности искусственного интеллекта, чтобы перейти от поддержки принятия решений к принятию решений и автономному управлению.

Описание стадий развития концепции Control Tower приведено в табл. 3.

Традиционная «диспетчерская вышка» (Control Tower 2.0) обеспечивает видимость только непосредственным торговым партнерам, зачастую, исключительно в транспортировке. Усовершенствованная интеллектуальная система Control Tower 4.0 — это центр обеспечения видимости цепи поставок, принятия решений и действий, основанных на аналитике в реальном времени, которая отслеживает, управляет и контролирует выполнение по функциям и компаниям для оптимизации всей сети поставок¹⁵.

¹⁵ Lippincott S., Najmi A. Inside Control Tower 4.0: Achieving disruptive results from autonomous control towers. One Network Enterprises, Nucleus Research, 2018. 27 p.

Таблица 3

Характеристика стадий развития концепции Control Tower

СТ 1.0	СТ 2.0	СЕ 3.0	СЕ 4.0
Control Tower как платформа для логистики	Control Tower как индикатор исключений и оповещений	Control Tower как «мультиагентный диспетчер»	Control Tower как автономный контролер
<p>Прозрачность партнеров по цепи поставок: поставщики, контрактные производители, перевозчики, 3PL-провайдеры</p> <p>Анализ спроса в конце цепи поставок:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Отслеживание Pull-процессов; • Гибкость и динамичность 	<p>Инструменты реагирования — изменения в планах с учетом данных или операций</p> <p>Использование технологии SCEM</p> <p>Аналитика в реальном масштабе времени — прогнозы и предиктивная аналитика</p>	<p>Видимость и контроль, ориентированные на потребителя от всех контрагентов цепи поставок</p> <p>Сетевой уровень программных приложений SOE между SOR, людьми и вещами</p> <p>Многопрофильные рабочие процессы и согласование процессов</p> <p>Параллельное, в реальном времени, выполнение процессов через мультиагентов</p>	<p>Автономная реакция и обучение.</p> <p>Совместный обмен информацией</p> <p>Самокорректирующаяся цепь поставок</p> <p>Машинное обучение и искусственный интеллект</p>

Источник: [Lippincott, Najmi, 2018].

Можно отметить 5 основных недостатков SCCT-продуктов (уровней 1.0–2.0), предлагаемых сегодняшними вендорами.

1. Ограниченная видимость цепи поставок.

Основные решения по Control Tower 1.0–2.0 обладают ограниченной видимостью, обычно в пределах одной части цепи поставок (Upstream/Downstream), в производственно-логистической сети одной компании или даже внутри организационно-функциональной структуры одного предприятия. Очень часто эти решения игнорируют розничные точки продаж или логистического посредника, что, естественно, приводит к неопределенности о местоположении товара. Невозможность полной интеграции с любой частью сетевой структуры цепи поставок является критическим недостатком. Истинная сквозная видимость означает, что онлайн релевантная информация доступна SC-менеджерам в любой точ-

ке цепи поставок: от поставщиков исходного сырья (или запчастей) — до конечного клиента (розничной точки продаж).

2. Простой с поддержкой принятия решений и оповещений.

Поставщики обычно утверждают, что Control Tower позволяет отслеживать состояние выходов объекта (процесса) цепи поставок. Однако, на самом деле, обычная практика заключается в предоставлении отчетов с устаревшей информацией и оповещений об уже случившихся проблемных ситуациях. Задержка между обнаружением расхождения плановых и фактических KPI цепи поставок, а затем трансляция его влияния на стратегические, оперативные планы и исполнение заказов может варьироваться от одной недели до одного месяца. Кроме того, даже эти уже запоздавшие сведения требуют ручного управления при перепланировании цепи поставок.

3. Слишком централизованное планирование без реального исполнения.

Почти каждая компания сегодня имеет отдельную систему планирования, исполнения и бизнес-аналитики (репортинг и оповещения). Применяемые в бизнес-аналитике мультиагентные системы требуют большого количества людей и обработки огромного объема данных (моделирования) для принятия решений и корректировки планов цепи поставок. Подход Control Tower 1.0–2.0 мало что меняет в этом разрезе. В лучшем случае Control Tower может позволить вам вручную более быстро скорректировать свой план, пока вы не сможете его выполнить. Как уже отмечалось, это займет минимум неделю.

4. Немасштабируемость.

Как правило, Control Tower (1.0–2.0) не позволяет масштабировать ваш бизнес, особенно если цель состоит в управлении на уровне SKU/артикула. Проблема состоит в том, что этот подход предполагает все еще большую долю ручного труда планировщиков, тогда как объем информации, генерируемый современными цепями поставок огромен, и планировщики просто физически не успевают его обрабатывать. Отсутствие масштабируемости также становится проблемой при попытке интегрироваться с торговыми партнерами, особенно розничными сетями.

5. Подключения торговых партнеров не могут быть вторично использованы.

В самом лучшем случае передовые версии Control Tower 2.0 в системе распределения цепи поставок (Downstream) используют

модель «Hub-and-Spoke», т.е. «втулка — спицы», где «втулка» — это распределительный центр, а на концах «спиц» (маршрутов доставки) находятся торговые партнеры (поставщики товара, оптовики и розница). Модель соединений в этом случае не может быть использована повторно, для подключения, например, нового сетевого розничного оператора или поставщика. В этом случае должен быть сформирован новый набор соединений, проведена интеграция IT-систем, реинжиниринг бизнес-процессов и т.д., что маловероятно, учитывая вычислительные мощности Control Tower низких уровней. Также сложность представляет изменение типа соединений, так как Control Tower используют разные технологии для каждого соединения, а также специальные ad-hoc-приложения. Результатом обычно является слабоструктурированная смесь EDI и ручной электронной почты/FTP-таблиц.

Развитие концепции SCCT шло по пути признания того факта, что любое предприятие — часть большой сети (Supply Network). При этом для обеспечения контроля и управления сетевой структурой цепи поставок необходима полная видимость и информация о ресурсах, потребляемых каждым звеном цепи поставок на каждом этапе выполнения заказа клиента. В конечном счете Control Tower должна обеспечить адекватный контроль всей цепи добавленной стоимости/ценности без учета наличия в цепи так называемых помех и нерелевантной/избыточной информации (Silos).

При этом сама цепь поставок (с позиций обмена информацией и принятия решений) уже рассматривалась не как жестко централизованная структура («Huband Spoke»), а как децентрализованная структура типа «Multi-Party Orchestration». В такой структуре контрагенты не подчинены напрямую фокусной компании цепи поставок (модель — «Huband Spoke») в плане предоставления и обмена информацией, а также регулирующих воздействий на цепь. Каждое звено цепи поставок может быть концентратором информации и принятия решений, и от его собственной точки зрения зависит осуществление (оркестровка — Orchestration) сквозных процессов типа «заказа за наличные» или «обеспечение оплаты»¹⁶.

Дальнейшее развитие концепции Control Tower (версии 3.0—4.0) шло по пути цифровизации цепи поставок в направлении

¹⁶ Optimizing Post-Sales Supply Chains With Intelligent Control Towers. <<https://www.supplychainbrain.com/authors/4436-onprocess-technology>>.

формирования систем вовлечения/взаимодействия (Systems of Engagement — SOE) в мультиэшелонированной сетевой структуре (Multi-Party Orchestration).

Control Tower 3.0 действует не только как инструмент наглядности или аналитики, но и как SOE, координирующая выполнение во многих «Системах записи» (System of Record — SOR) между контрагентами цепи поставок.

Системы SOE ориентированы на людей, а не на процессы. Эти новые системы используют идеальный набор мобильных приложений, социальных сетей, облачных сервисов и больших данных для предоставления приложений и интеллектуальных продуктов непосредственно в контексте повседневной жизни и рабочих процессов клиентов, партнеров и сотрудников в режиме реального времени. Control Tower 3.0 организует всех участников (людей и вещи) в нескольких компаниях в режиме реального времени для обслуживания потребителей.

Рассмотрим некоторые способы (пути) поддержки концепции «Multi-Party Orchestration» (MPO) при синтезе СТ 3.0.

Цель — ориентация на потребителя

Вся сеть MPO имеет видимость для конечного потребителя и может незамедлительно реагировать на решение проблем по мере их возникновения, обеспечивая максимально эффективное удовлетворение спроса. Будь то неожиданный скачок или затишье спроса, дистрибьюторы, поставщики и логистические посредники могут перераспределить запасы и ресурсы, чтобы воспользоваться меняющимися условиями. Ключевым моментом здесь является то, что все паритеты выстроены вокруг общей цели для обслуживания потребителя. Это обеспечивает ценность для всех, даже если отдельные стороны могут оптимизировать свои собственные процессы. SCCT ставит перед собой общую задачу и обеспечивает оптимизацию всей сети, в отличие от субоптимальных решений отдельных звеньев, работающих изолированно.

Многосторонние рабочие процессы

С SOR практически невозможно поддерживать рабочие процессы, которые проходят в нескольких компаниях. SOE извлекает оркестровку из отдельных SOR и перемещает ее на уровень SOE, который обеспечивает единую версию достоверности информа-

ции и бесперебойную оркестровку для всех сторон и компаний. Это — цифровая сеть, которая объединяет покупателя, продавца, перевозчика и другие звенья цепи поставок для эффективной доставки продукта потребителю, одновременно понимая ограничения каждой стороны и соединяя множество SOR.

Совместное обслуживание сделок и исполнения

Системы взаимодействия также служат основой транзакций и исполнения. Транзакции теперь могут быть многосторонними и сохраняться в системах учета по мере необходимости. Заказ на покупку компании-покупателя и заказ на продажу компании-продавца теперь рассматриваются просто как две точки зрения на одну и ту же транзакцию — как две стороны одной медали.

Реальное время и динамичность

Система СТ 3.0 работает в режиме реального времени и предоставляет данные, основанные на реальных условиях, что позволяет всем контрагентам цепи поставок быстрее реагировать и решать проблемы. Например, поставщик сразу узнает, как только выдается предупреждение о потенциальном наличии товара на складе. Таким образом, вся сеть стала более гибкой и быстрее реагировать на изменения спроса и изменения в предложении. В целом, чем раньше будет решена проблема, тем дешевле будет ее решение, что дает большую возможность сократить расходы.

Control Tower 3.0 представляет собой скачок вперед в идеологии SCCT, чего практически невозможно достичь с помощью традиционного программного обеспечения, поскольку для этого требуется многослойная сеть со сложной и безопасной структурой разрешений (например, на основе использования технологии Blockchain).

Преимущества сетевого управления в режиме реального времени опережают преимущества выигрыша в субоптимальных решениях с локальными изменениями, характерными для СТ 1,0 и 2,0. Это сразу упрощает IT-интеграцию, поскольку подключение к сети типа МРО осуществляется один раз и сразу ко всем сторонам. С единой версией достоверной информации в реальном времени имеется возможность принимать более выгодные решения. Вы можете заключать сделки, выполнять операции и сотрудничать с контрагентами по всей структуре сети поставок.

В результате проведенного аналитического обзора и анализа концепции Control Tower можно сделать вывод, что внедрение данной концепции/инструментария обеспечивает значительные преимущества и возможности управления цепями поставок: от сквозной видимости до продвинутой автоматизации контроля и управления. Вот некоторые из ключевых возможностей:

- Сквозная видимость (end-to-end visibility) — видимость среди контрагентов по цепи поставок, включая поставщиков, контрактных производителей, перевозчиков, 3PL-провайдеров и др.
- Совместный обмен информацией — сотрудничество контрагентов цепи в режиме реального времени.
- Ранние предупреждения и управление исключениями — устранение сбоев в цепи поставок, прежде чем они нарушат бизнес контрагентов цепи.
- Предсказательная и предписывающая аналитика и поддержка принятия решений — с использованием продвинутых методов прогнозирования, искусственного интеллекта и мульти-агентных систем.
- Автономное принятие решений и контроль — уменьшение рутинных операций и увеличение производительности персонала, производственной и логистической инфраструктуры.
- Самокорректирующаяся цепочка поставок с принятием оптимальных решений и машинное обучение.

Список литературы

Дыбская В.В., Сергеев В.И. Мировые тренды развития управления цепями поставок // Логистика и управление цепями поставок. 2018. № 2. С. 3–14.

Дыбская В.В., Сергеев В.И. Логистика: в 2 ч.: учебник для бакалавриата и магистратуры / под общ. и науч. ред. В.И. Сергеева. М.: Юрайт, 2016. Ч. 1. 317 с.; Ч. 2. 341 с. (Серия «Бакалавр и магистр. академический курс»).

Сергеев В.И. Логистика и управление цепями поставок — специальность 21 века // Логистика и управление цепями поставок. 2018. № 6. С. 3–30.

Сергеев В.И., Кокурин Д.И. Применение инновационной технологии «Блокчейн» в логистике и управлении цепями поставок // Креативная экономика. 2018. Т. 12. № 2. С. 125–140.

Сергеев В.И. Перспективы развития цифровой логистики и SCM в России и роль Школы логистики НИУ ВШЭ // Логистика и управление цепями поставок. 2017. № 6. С. 3–14.

Сергеев В.И., Дутиков И.М. Цифровое управление цепями поставок: взгляд в будущее // *Логистика и управление цепями поставок*. 2017. № 2. С. 87–97.

Сергеев В.И., Кольчугин Д.М. Теоретические аспекты устойчивости цепей поставок // *Логистика и управление цепями поставок*. 2015. № 3. С. 54–66.

Сергеев В.И. Управление цепями поставок: учебник для бакалавров и магистров. Углубленный курс. М.: Юрайт, 2014. 479 с.

Сергеев В.И. Методические подходы к аудиту и контроллингу логистической деятельности // *Логистика и управление цепями поставок*. 2014. № 3. С. 9–26.

Сергеев В.И. Исследование состояния логистического контроллинга на российских предприятиях // *Логистика и управление цепями поставок*. 2013. № 4–5.

Сергеев В.И., Сергеев И.В. Логистические системы мониторинга цепей поставок: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2003. 172 с.

Brabc C. 3 Types of Supply Chain Control Towers. <<https://blog.mp-objects.com/3-types-of-supply-chain-control-towers>>.

Control Tower for Supply Chains. <<https://blog.mp-objects.com/3-types-of-supply-chain-control-towers>>.

Control Tower Technology Value Matrix. Document number: S178. November. 2018. <www.NucleusResearch.com>.

Gartner Questions Supply Chain “Control Towers”. <www.gartner.com>.

Global Supply Chain Control Towers: Achieving end-to-end Supply Chain Visibility // Capgemini Consulting. 2011. 16 p.

How Supply Chain Control Towers Provide Visibility and Collaboration with Trading Partners. One Network: <https://www.supplychain247.com/paper/one_network_idc_marketscape_network_assessment>.

How to Derive Optimal Value from a Control Tower. One Network Enterprises, 2018. 3 p.

Increase talent and organizational alignment and improve agility: Create a supply chain control tower in the high tech industry. <https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/>.

Lippincott S., Najmi A. Inside Control Tower 4.0: Achieving disruptive results from autonomous control towers. One Network Enterprises, Nucleus Research, 2018. 27 p.

One Network Enterprises: Home of the Real Time Value Network. One Network Enterprises, 2017. 4 p.

Optimizing Post-Sales Supply Chains with Intelligent Control Towers. <<https://www.supplychainbrain.com/authors/4436-onprocess-technology>>.

Real Time Value Network Software. <www.OneNetwork.com>.

Rob van Doesburg. Supply chain control towers 2.0. <<https://supplychainbeyond.com/rise-of-supply-chain-control-towers/>>.

Samelson Quentin. What is a Supply Chain Control Tower? <<http://www.supplychainquarterly.com/articles/20140826-control-towers-provide-a-return-on-risk-management-investments>>.

SAP Supply Chain Control Tower. <www.sap.com>.

Sergeyev V.I. Logistics Controllingasa Tool of Performance Improvementat the Russian Enterprises // Transport and Tele-communication. 2016. Vol. 17. No. 2. P. 100–110.

Supply Chain Control towers or One Network’s Cloud platform. One Network Enterprises, 2017. 2 p.

Supply Chain Control Towers: From real-time visibility to automation and machine learning. <<https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2018/06/11/10-ways-machine-learning-is-revolutionizing-supply-chain-management/#a569d483e370>>.

The Supply Chain Control Tower an Assessment. <<https://supplychaingamechanger.com/the-supply-chain-control-tower-an-assessment/>>.

The Truth about Supply Chain Control Towers: Cutti Through the Hype. One Network Enterprises, 2018. 8 p.

What is a Supply Chain Control Tower? <<https://www.accenture.com/gb-en/insight-supply-chain-avoids-extinction>>.

What Makes One Network Different? Everything. One Network Enterprises, 2018. 6 p.

2.3. Устойчивость цепей поставок

Устойчивость (resilience) — способность цепи поставок к восстановлению при возникновении сбоев в работе. Данный параметр — это одно из направлений, относящихся к управлению рисками в цепях поставок [Чопра, 2004]. Можно выделить несколько причин повышенного внимания в научной среде к вопросам устойчивости в цепях поставок. Среди них — целый ряд сбоев (разрушительных событий), повлиявших на функционирование многих глобальных цепей поставок за последние 10–15 лет, а так-

же уязвимость ИТ- и Lean-систем по отношению к негативным внешним воздействиям. Наряду с этим к данным причинам можно отнести еще два фактора — децентрализацию цепей поставок многих предприятий и тенденцию к меньшей вертикальной интеграции [Christopher, 2004]. Согласно [Rice, 2003], основные меры снижения негативных воздействий на цепь поставок — это увеличение гибкости работы цепей и наличие избыточных мощностей.

Можно выделить ряд направлений в подходах к анализу факторов, которые приводят к сбоям в работе цепи поставок. В частности, сбой в производстве, не связанные с непредвиденными разрушительными внешними факторами, как, например, пожар или стихийное бедствие, иногда рассматриваются как отдельный класс исследований. В ряде случаев один из элементов логистической сети (или несколько элементов) перестает функционировать, что приводит к изменению потоков в цепи поставок.

Треугольник восстановления устойчивости (disaster resilience triangle) — основной подход к описанию степени защищенности системы, скорости адаптации к изменившимся условиям и процессу возвращения к нормальному функционированию. Более подробная схема воздействия внешних факторов и этапы восстановления представлены в работах [Sheffi, 2005; 2001]. Авторы выделяют восемь основных составляющих процесса воздействия на работу цепи поставок. Среди них следует отметить финальную стадию — долгосрочные последствия воздействия на систему. Авторы указывают, что в ряде случаев система может не восстановиться в полном объеме.

Степень воздействия тех или иных разрушительных факторов в большой степени зависит от тех контрмер, которые применяются в компании. Стратегии цепей поставок по реагированию на рискованный фактор обычно подразделяют на реактивные и проактивные. В отличие от реактивной стратегии, ориентированной на устранение последствий уже случившегося сбоя в работе, проактивная стратегия подразумевает принятие защитных мер до наступления негативного фактора. Если компания применяет комбинацию проактивных и реактивных методов, то для оценки эффективности их влияния по отдельности используют два критерия: степень смягчения воздействий (mitigation) — для проактивных стратегий и набор действий для непредвиденных обстоятельств (contingency) — для реактивных.

В связи с этим большое внимание сегодня уделяется цифровым технологиям для повышения устойчивости цепей поставок, в частности, предиктивной аналитики, основанной на анализе больших объемов информации. К направлениям цифровизации цепей поставок относится и развитие класса методов и моделей, описывающих структуру и бизнес-процессы цепи поставок, в частности, генетические алгоритмы, мультиагентные системы, когнитивные вычисления и др. Поэтому большой интерес представляет обобщенная модель анализа устойчивости системы с точки зрения концепции волнового эффекта (ripple effect), представленная в статье [Ivanov et al., 2014b]. В процессе изучения надежности цепей поставок и связанных с ней особенностей функционирования достаточно часто используются оптимизационные математические или имитационные модели. В статье [Ivanov et al., 2014a] предложен метод переформулирования модели из смешанно-целочисленной в модель максимального потока, что позволяет снизить ее вычислительную сложность. Модель состоит из статической и динамической частей. Рассмотрена динамическая адаптация системы к внешним воздействиям: перераспределение потоков, задействование других элементов сети. В качестве примера оценки рисков, вызванных сбоями в работе цепи поставок с использованием имитационного моделирования, можно привести исследование [Schmitt, 2009].

Существует большое количество составляющих устойчивости для производственных систем, определяемых взаимодействием как с другими контрагентами, так и с особенностями процессов производственного планирования. В качестве примеров можно привести работу [Tomlin, 2009], в которой рассматриваются модифицированные алгоритмы размещения заказов при наличии ненадежных поставщиков. В модели сбои в работе влияют на время доставки — при возникновении нарушений в работе срок поставки увеличивается на заданную стохастическую величину. Рассмотрены три стратегии для снижения влияния разрушительных факторов в системе с двумя продуктами. В качестве примера работы, в которой представлен обобщенный подход к учету рисков факторов в зависимости от особенностей отдельной отрасли — химической промышленности — можно выделить статью [Kleindorfer, 2005]. Подчеркивается важность формализованного подхода к определению, количественной оценке и средствам противодействия рискам. Специфичные особенности для MRP-систем рассмотрены в [Dolgui, 2007].

Стратегии снижения уровня воздействия рисков факторов также влияют на подход к проектированию логистических сетей. Одна из ранних работ, в которой рассмотрена специфика решения задачи по размещению элементов сети с учетом возможных сбоев в работе цепи поставок, — это [Snyder, Daskin, 2005]. В ней представлена концепция запасных складов для снабжения в случае сбоев в работе основных выбранных локаций. Численные эксперименты реализованы с помощью пакета CPLEX. Влияние точности оценки вероятности сбоев на общие издержки системы и подход к размещению объектов логистической инфраструктуры проанализированы в [Lim et al., 2013].

В исследовании [Schmitt et al., 2015] рассмотрены стратегии определения уровня централизации в зависимости от параметров спроса и типа сбоев. В качестве критериев оценки используются показатели уровня вариации общих затрат и ожидаемая величина затрат. Децентрализованная система с увеличенным запасом в распределительных центрах лучше защищена от воздействия разрушительных факторов, централизованная система, напротив, позволяет снизить негативное влияние от вариации спроса. Если в системе присутствуют обе составляющие — неопределенный спрос и подверженное сбоям поставок снабжение, то подход к проектированию системы должен обеспечивать снижение негативного влияния от этих факторов.

Подробный обзор того, как применяется исследование операций для анализа сбоев в цепях поставок, представлен в [Snyder et al., 2015]. Основное внимание уделено анализу работ, в которых рассматриваются ограничения по мощности, заключающиеся в полной или частичной потере производительности звена цепи поставок. В данном обзоре среди статей, в которых оцениваются последствия сбоев в цепи поставок и особенности процесса восстановления системы, преобладают исследования, основанные на имитационном моделировании.

Общая тенденция заключается в следующем: чем в большей степени учитываются динамические показатели сети или же специфические параметры работы системы, тем чаще используется имитационное моделирование. При этом важно отметить, что значительным преимуществом применения оптимизационных моделей является масштабность описываемой системы. Определение оптимального уровня устойчивости системы к внешним воздействиям требует балансировки соотношения «эффективность/из-

быточность» по аналогии с соотношением «издержки/уровень сервиса» [Carvalho, 2012].

Одним из базовых способов повышения устойчивости цепи поставок является увеличение уровня запасов и перераспределение запасов внутри сети. Однако в случае, если продукция подвержена рискам списания, увеличение уровня запаса может приводить к дополнительным затратам. Особенностью рассматриваемой системы является то, что продукция подвержена устареванию, и поэтому управление запасами осуществляется по более сложному алгоритму. Поэтому добавление ограничения по срокам годности существенно изменяет и усложняет подход к планированию запасов продукции и к проектированию конфигурации логистических сетей в целом.

Наибольший вклад в теоретические основы планирования запасов с ограниченным сроком годности внес автор работы [Nahmias, 1980]. В этой работе представлены основные математические формулировки задач управления запасами продукции с ограниченным сроком годности, в том числе основанные на динамическом программировании. Рассмотрены несколько практических примеров, описаны ранние исследования, основанные на цепях Маркова и имитационном моделировании. Многие современные работы основаны на дальнейшем развитии этих базовых моделей. Наиболее полный обзор основных публикаций, посвященных управлению запасами с точки зрения исследования операций, представлен в работах [Goyal, Giri, 2001; Bakker et al., 2012].

В статье [Pahl, Wob, 2014] приведен анализ работ, в которых рассматриваются модели управления запасами продукции с ограниченным сроком годности в контексте планирования цепей поставок. В части, посвященной интеграции тактических производственных решений в процесс планирования продукции с ограниченным сроком годности, подчеркивается важность следующих параметров: размер заказа, величина производственных мощностей, время на переналадку оборудования. Следует отметить, что среди пунктов, выделяемых авторами как перспективные для проведения дальнейших исследований, некоторые в большей степени подходят для исследований с использованием моделирования, чем для математических методов (например, корректное отражение времени доставки или использование конкретных примеров из индустрии).

В качестве примера работы, в которой основной акцент сделан на производство и распределение в цепях поставок, можно

привести обзорную статью [Amorim, 2013]. В ней представлена обобщенная классификация продукции с ограниченным сроком годности, которая позволяет структурировать исследование по данному вопросу. В частности, фактический срок годности продукции, с точки зрения возможности реализации, может отличаться (в меньшую сторону) от указанного на упаковке срока годности. Для более точного планирования интегрированной цепи поставок требуется учитывать не только физический процесс устаревания, но и ограничения со стороны потребителей (не обязательно конечных покупателей), возможные ограничения со стороны контролирующих органов (если это применимо к рассматриваемой области) и специфику процесса потери потребительских свойств продукции. В настоящем исследовании также учитываются отличия номинального срока годности и фактического периода, в течение которого она может быть реализована. В работе [Entrup, 2005] представлена смешанная линейно-целочисленная модель, предназначенная для оптимизации функционирования цепи поставок йогуртов. Риски списания присутствуют на всех этапах работы с данной товарной группой: от закупки сырья до продажи готовой продукции. Данная особенность отразилась на подходе к оптимизации работы системы — подчеркивается сложность балансировки многокритериальной структуры затрат производственного цикла. Особое внимание уделяется существенной роли специфики спроса в управлении планированием цепями поставок. Применяется «блоковый» подход к последовательности производства продукции с отличающимися наполнителями, в модели учтена зависимость стоимости от остаточного срока годности. Также представлена логика формирования агрегированных «блоков».

В работе [Atan, Snyder, 2012a], как и в предыдущем исследовании, рассматриваются специфичные для производства вопросы. Приводятся основные варианты реализации стратегии избыточных мощностей за счет управления запасами для снижения воздействия негативных факторов. Помимо этого в исследовании представлены базовые математические постановки задач.

Частным случаем из области управления запасами является обобщенная формулировка EOQ-модели со сбоями в работе системы EOQD (Economic Order Quantity with Disruptions). Данная модель имеет следующие характеристики: детерминированный

непрерывный спрос, потерю продаж при нулевом запасе, случайные величины, описывающие состояния нормальной работы и сбоя системы. На базе этой модели основано большое количество исследований, обзор которых представлен в статье [Atan, Snyder, 2013]. Модель управления запасами при наличии рисков сбоев со стороны снабжения в системе с одним продуктом рассматривается в статье [Atan, Rousseau, 2016]. Анализ проводится для оценки изолированного фактора сбоев, поэтому используются предпосылки об одномоментных поставках, отсутствии минимальных или кратных минимальным заказам и фиксированном уровне спроса. Еще одной значимой работой является [Atan, Snyder, 2012*b*]. В ней представлена обобщенная модель управления сбоями в двухуровневой распределительной системе. При этом из системы исключены другие источники неопределенности.

Анализ литературных источников показывает, что наиболее перспективными направлениями исследований являются увеличения количества эшелонов цепи поставок, которые рассматриваются, а также учет более сложных процессов, характерных для выбранной области. Например, особенности спроса или же специфические принципы организации снабжения. Важность исследования многопродуктовых систем, добавления усложненных моделей спроса и учет ограничений по мощности подчеркивается в работе [Karaemen, 2011]. В этом исследовании в качестве средства построения и анализа системы применяется имитационное моделирование. Выбор данного метода обусловлен высокой сложностью рассматриваемой системы: ряд специфических для системы процессов затруднительно описать без использования данного метода. Ограничения по сроку годности продукции обычно приводят к снижению уровня страховых запасов и увеличению частоты поставок. Добавление рисков, связанных со снижением мощности производства, приводит к пересмотру уровня страховых запасов в сторону увеличения. Сопоставляя показатели системы при настройках, которые близки к оптимальным, можно оценить влияние отдельных факторов на общий результат. Выбор направления для анализа устойчивости цепи поставок во многом определяется особенностями моделируемой системы.

В работе [Schmitt, 2012] частично применяется подход исследования «A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain». В данной статье рассматриваются стратегии снижения воздействия сбоев в логистической сети на уровень сервиса

системы. Подвергаются анализу как проактивное распределение запасов в звеньях сети, так и использование альтернативных источников продукции (производств). Исследуется участок цепи поставок от производства сырья до клиентов, 3 уровня в общей сложности.

В качестве эффективного средства увеличения устойчивости за счет «избыточности» системы, с точки зрения управления запасами, авторы [Schmitt et al., 2015] предлагают выделять «стратегический запас» как средство защиты от сбоев, наряду с циклическим и страховым запасом. Дополнительный уровень запаса наряду с увеличенными производственными мощностями — два основных способа реализации стратегии избыточности (redundancy).

В ходе анализа работы системы рассматриваются сценарии со сбоями в работе, продолжительностью 2, 4, 6 недель и их влияние на общую производительность системы. Эффект от сбоев сопоставляется с аналогичными по продолжительности двухкратными скачками спроса. Появляется дополнительное измерение при поиске оптимального баланса затрат — анализ распределения запасов по стадиям производственного цикла в зависимости от структуры затрат на содержание запасов. В сфере FMCG, где продукция подвержена рискам списания, при увеличении уровня запасов увеличиваются риски списания продукции, что приводит к увеличению издержек.

В работе [Carvalho, 2012] исследуется часть цепи поставок от поставщиков второго уровня до сборочного производства. Модель построена с учетом специфики автомобильной промышленности. У поставщиков первого уровня используются несколько остановок на маршруте доставки (так называемые milk-run-поставки), что вносит дополнительную сложность в аллокацию транспортных затрат. Производимая продукция состоит из нескольких компонентов, соответственно отсутствие одной из составляющих останавливает производство. Используется фиксированный спрос с периодической моделью оценки запасов и тянущей конфигурацией системы. В качестве показателей для измерения уровня устойчивости рассматриваются: своевременность доставки, общие затраты и уровень сервиса.

Обобщенный подход к количественной оценке устойчивости системы также представлен в работе [Barroso, 2015]. Рассмотрены теоретические подходы к оценке устойчивости. Отмечается, что разные авторы по-разному формулируют определения данного

понятия, в ряде случаев оно включает также стратегии достижения заданного уровня устойчивости. В исследовании представлен практический кейс, основанный на цепи поставок португальского автомобильного производителя. В качестве риска возникновения сбоя в работе учитываются несвоевременные поставки продукции от поставщиков до производства. Предложены четыре подхода к оценке устойчивости цепи поставок, основанные на данных анализа функционирования каждого элемента логистической сети.

В работе [Xu, 2014] основной фокус направлен на специфику процесса восстановления работы системы. В частности, авторы выделяют четыре важные составляющие/стадии и используют сценарный анализ для численной оценки теоретически обоснованных подходов. Сценарии различаются моментом внедрения мер по снижению воздействия разрушительного явления на цепь поставок. Также авторы предлагают использовать особую метрику для оценки способности цепи поставок к восстановлению. В качестве метода моделирования использован мультиагентный подход [Datta, 2007], основанный на диаграммах состояния агентов. К недостаткам, которые являются прямым следствием акцентирования внимания на сетевой составляющей проблемы, можно отнести логику перехода агентов — звеньев цепи поставок из одного состояния в другое, а также очень жесткие условия по исключению поставщиков из работы сети. Процессы размещения и выполнения заказов упрощены.

В вышеперечисленных исследованиях в качестве средства моделирования используются следующие программные продукты: ARENA в ранее рассмотренных публикациях (Schmitt, Carvalho) и Anylogic в работе [Xu, 2014].

Список литературы

Amorim P., Meyr H., Almeder C., Almada-Lobo B. Managing perishability in production-distribution planning: A discussion and review // *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2013. September. Vol. 25 (3). P. 389–413.

Atan Z., Rousseau M. Inventory optimization for perishables subject to supply disruptions // *Optimization Letters* January. 2016. Vol. 10. Iss. 1. P. 89–108.

Atan Z., Snyder L.V. Disruptions in One-Warehouse Multiple-Retailer Systems. 2012b. November 5. Available at SSRN: <<http://ssrn.com/abstract=2171214>>.

Atan Z., Snyder L.V. EOQ Models with Supply Disruptions, Handbook of EOQ Inventory Problems. 2013. Vol. 197. P.43–55.

Atan Z., Snyder L.V. Inventory Strategies to Manage Supply Disruptions, Supply Chain Disruptions. 2012a. P. 115–139.

Bakker M., Riezebos J., Teunter R.H. Review of inventory systems with deterioration since 2001 // European Journal of Operational Research. 2012. September 1. Vol. 221. Iss. 2. P. 275–284.

Barroso A.P., Machado V.H., Carvalho H., Cruz Machado V. Quantifying the Supply Chain Resilience Applications of Contemporary Management Approaches in Supply Chains. 2015. Ch. 2.

Carvalho H., Azevedo S.G., Cruz-Machado V. Agile and resilient approaches to supply chain management: Influence on performance and competitiveness // Logistics Research. 2012. March. Vol. 4 (1–2). P. 49–62.

Carvalho H., Barroso A.P., Machado V.H. et al. Supply chain redesign for resilience using simulation // Computers & Industrial Engineering. 2012. Vol. 62. P. 329–341.

Chopra S., Sodhi M.S. Managing Risk to avoid Supply-Chain Breakdown // MIT Sloan Management Review. 2004. Vol. 200. No. 446 (1). P. 53–61.

Christopher M., Peck H. Building the Resilient Supply Chain // The International Journal of Logistics Management. 2004. Vol. 15. P. 1–14.

Datta P.P., Christopher M. Allen Agent-based Modelling of Complex Production/ Distribution Systems to Improve Resilience // International Journal of Logistics: Research and Applications. 2007. Vol. 10 (3). P. 187–203.

Dolgui A., Prodron C. Supply Planning Under Uncertainties in MRP Environments: A State of the Art // Annual Reviews in Control. 2007. Vol. 31 (2). P. 269–279.

Entrup L., Gunther M., Van Beek H.-O. et al. Mixed-Integer Linear Programming approaches to shelf-life integrated planning and scheduling in yoghurt production // International Journal of Production Research. 2005. Vol. 43 (23). P. 5071–5100.

Goyal S.K., Giri B.C. Recent trends in modeling of deteriorating inventory // European Journal of Operational Research. 2001. Vol. 134. P. 1–16.

Ivanov D., Pavlov A., Sokolov B. Optimal distribution (re)planning in a centralized multi-stage supply network under conditions of the ripple effect and structure dynamics // European Journal of Operational Research. 2014a. Vol. 237. P. 758–770.

Ivanov D., Sokolov B., Dolgui A. The Ripple effect in supply chains: Trade-off 'efficiency-flexibility-resilience' in disruption management // *International Journal of Production Research*. 2014b. Vol. 52. No. 7. P. 2154–2172.

Karaesmen I.Z., Scheller-Wolf A., Deniz B. Managing Perishable and Aging Inventories // *Review and Future Research Directions, International Series in Operations Research & Management Science*. 2011. Vol. 151. P. 393–436.

Kleindorfer P.R., Saad G.H. Managing disruption risks in supply chains // *Production and Operations Management*. 2005. Vol. 14. P. 53–68.

Lim M.K., Bassamboo A., Chopra S., Daskin M.S. Facility Location Decisions with Random Disruptions and Imperfect Estimation // *Manufacturing and Service Operations Management*. 2012. Vol. 15 (2). P. 239–249.

Nahmias S. Perishable Inventory Theory: A review, *Operations Research*. 1980. Vol. 30. No. 4. P. 680–708.

Pahl J., Voß S. Integrating deterioration and lifetime constraints in production and supply chain planning: A survey *European Journal of Operational Research*. 2014. November. Vol. 238 (3). P. 654–674.

Rice J.B., Caniato F. Building a secure and resilient supply network // *Supply Chain Management Review*. 2003. Vol. 7. P. 22–30.

Schmitt A.J., Singh M. Quantifying supply chain disruption risk using monte carlo and discrete-event simulation // *Rossetti M.D., Hill R.R., Johansson B. et al. (eds). Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*. P. 1237–1248.

Schmitt A.J., Singh M. A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain // *International Journal Production Economics*. 2012. Vol. 139. P. 22–32.

Schmitt A.J., Sun S.A., Snyder L.V., Shen Z.-J.M. Centralization versus Decentralization: Risk Pooling, Risk Diversification, and Supply Chain Disruptions // *Omega*. 2015. Vol. 52. Iss. C. P. 201–212.

Sheffi Y. Supply chain management under the threat of international terrorism // *International Journal of Logistics Management*. 2001. Vol. 12. P. 1–11.

Sheffi Y., Rice J. A supply chain view of the resilient enterprise // *MIT Sloan Management Review*. 2005. Vol. 47. P. 41–48.

Snyder L.V., Atan Z., Peng P. et al. OR/MS Models for Supply Chain Disruptions: A Review. *IIE Transactions*. 2015.

Snyder L.V., Daskin M.S. Reliability models for facility location: The expected failure cost case // *Transportation Science*. 2005. Vol. 39. P. 400–416.

Tomlin B. Disruption-management strategies for short life-cycle products // *Naval Research Logistics*. 2009. Vol. 56. P. 318–347.

Xu M., Wang X., Zhao L. Predicted supply chain resilience based on structural evolution against random supply disruptions // *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*. 2014. P. 105–117.

Выводы

1. Масштабная цифровизация, которая затронула не только практически все отрасли экономики нашей страны, но и социальную сферу, нуждается в определенном осмыслении с позиций развития ее методологической основы, построения адекватной программной платформы, позволяющей системно подойти к проблематике цифровых преобразований. То, что происходит сегодня с цифровой трансформацией отдельных процессов/операций, бизнес-единиц, предприятий, организаций и в целом цепей поставок в промышленности, торговле, сфере услуг нельзя назвать иначе, как «цифровой хаос».

Практически в любой цепи поставок сегодня применяется масса цифровых технологий, но решения по цифровизации выглядят скорее спонтанными, подверженными сиюминутным интересам или вызовам, чем стратегически выверенными. Кроме того, зачастую, возможности применяемых цифровых технологий/инструментов используются далеко не в полной мере, что обусловлено или недостаточным уровнем знаний и компетенций персонала, или сложностью технической/программной реализации.

В то же время сама методология цифровой трансформации, особенно применительно к логистике и УЦП, разработана недостаточно, несмотря на имеющиеся работы зарубежных и отечественных специалистов в данной области. В частности, относительно редко используется проверенный международной практикой методологический подход на основе SCOR-модели.

2. Анализируя передовые цифровые разработки в различных отраслях, можно сделать вывод, что цифровая трансформация компании/цепи поставок должна базироваться на методологических принципах системного подхода и анализа, моделирования процессов и структуры цепей поставок, использования парадигмы «экосистем». При этом важная роль в развитии методологии принадлежит:

- формированию цифровых двойников (Digital Twin — DT) как контрагентов/процессов, так и цепи поставок в целом;
- использованию концепции Supply Chain Control Tower в целях контроля, мониторинга и управления рисками в цепи поставок;
- методов анализа и повышения устойчивости цепей поставок.

3. Оценивая возможности и перспективы цифровизации логистики и УЦП, требуется, прежде всего, идентифицировать те объекты и процессы, которые являются ключевыми в цепи поставок с точки зрения их влияния на эффективность бизнеса цепи. Для достижения этой цели необходимо осуществить моделирование (объектное и процессное) типичной цепи поставок в конкретной отрасли экономики. При этом могут быть использованы различные методы моделирования: функциональное, сетевое, имитационное, процессное и т.п. Как показала практика таких компаний, как Deloitte, HP, Nokia, одним из наиболее конструктивных подходов в этом плане является применение референтных процессных моделей цепей поставок (в частности, SCOR-модели) и идеологии «Multi-PartyNetwork».

Цифровая трансформация цепей поставок на основе использования референтных процессных моделей состоит в выборе тех цифровых технологий, систем и устройств, которые наилучшим образом соответствуют выделенным процессам с позиций выполнения стратегических, тактических и оперативных целей цепи.

Процесс дизайна и выведения на рынок нового продукта описывается с помощью DCOR-модели, остальные процессы (конфигурирование и обработка заказов, производство, дистрибуция и доставка) относятся к SCOR-модели. Интегрирующим фактором, связывающим процессы в единую цифровую модель цепи поставок, является жизненный цикл заказа. Каждый процесс в модели трансформируется с помощью набора цифровых технологий, таких как 3D-печать, Big Data, машинное обучение, облачные сервисы, роботы и продвинутая аналитика. Источником достоверной информации для обеспечения функционирования цифровой цепи поставок является так называемое озеро данных.

4. Как показал анализ, мировая и отчасти российская практика цифровизации экономики, должны быть идентифицированы следующие стандартные функции/функционалы в цифровых цепях поставок:

- Автоматическое пополнение запасов (Supply Chain Replenishment).
- Электронное снабжение (E-Procurement).
- Контроль и мониторинг цепи поставок с использованием RFID.
- Электронный документооборот (EDI).
- Управление запасами с использованием беспроводных технологий и устройств.
- Совместное планирование, прогнозирование и управление запасами (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment).
- Совместное проектирование и развитие продукта (Collaborative Design and Development).
- Электронная (цифровая) логистика (E-Logistics).

5. Резюмируя рассмотренные источники по цифровизации в экономике, можно выделить следующий ключевой исследовательский контент цифровизации цепей поставок:

- Полная интеграция цифровой цепи поставок:
 - сквозная (E2E) прозрачность;
 - динамичная, синхронизированная и конкурентная сетевая структура (DSN);
 - глобальный транзакционный менеджмент на основе технологии блокчейн.
- Интеллектуальная система поддержки принятия решений:
 - онлайн-управление данными / предиктивная аналитика;
 - диспетчерский центр контроля и диагностики рисков событий (SCCT);
 - онлайн-исполнение заказов/процесный менеджмент.
- Автоматизированное УЦП (e-SCM):
 - непрерывное снабжение / планирование спроса (продаж);
 - автоматизированное (smart) управление запасами;
 - электронная логистика (E-Logistics).

3. Обзор перспективных цифровых технологий в логистике и УЦП

3.1. Дополненная реальность

Цифровой технологический тренд в логистике, связанный с развитием робототехники, автоматизацией логических бизнес-процессов, использованием систем искусственного интеллекта, направлен на уменьшение количества операций, выполняемых человеком, тем самым снижая влияние человеческого фактора. Технология дополненной реальности позволяет увеличить эффективность таких операций за счет снижения количества ошибок и скорости принятия решений.

Технологии и архитектура систем дополненной реальности

Дополненная реальность (Augmented Reality — AR) — это разновидность виртуальной реальности (VR), где виртуальные объекты накладываются на реальную среду [Azuma, 1997], которая должна удовлетворять трем требованиям: объединять виртуальные и реальные объекты в реальной среде, работать в интерактивном режиме и в режиме реального времени регистрировать реальные и виртуальные объекты. Технология VR создает виртуальную среду, представленную нашим органам чувств таким образом, что мы воспринимаем ее так, как будто действительно в ней находимся. AR означает включение виртуальных объектов в реальную трехмерную сцену.

Используются три основных вида систем дополненной реальности [Azuma et al., 2001]:

1. Головные дисплеи (Head Mounted Displays — HMD) — устройства, носимые на голове, такие как очки или шлемы. Эти устройства делятся на две категории: оптические прозрачные и видеопрозрачные [Azuma, 1997]. В оптических прозрачных системах полупрозрачное зеркало позволяет пользователям видеть реальный мир и отражает информацию в глаза пользователя, объединяя реальные и виртуальные объекты [Nishihara, 2015]. В видео-

прозрачных системах реальный мир предварительно оцифровывается, как правило, с помощью прикрепленной камеры, затем реальный мир и цифровая информация сливаются перед отображением на непрозрачном дисплее [Azuma et al., 2001; Nishihara, 2015].

2. Мобильные и стационарные экраны. В этих системах камера отвечает за захват изображения реального мира, в то время как устройство или подключенный компьютер визуализирует виртуальный образ и проецирует его на экран оборудования [Nishihara, 2015].

3. Устройства пространственной дополненной реальности (Spatial Augmented Reality — SAR). Эти системы используют проекторы для воспроизведения виртуальной информации непосредственно на реальные объекты [Azuma et al., 2001], позволяя пользователю взаимодействовать с виртуальным объектом.

Устройства дополненной реальности работают во взаимодействии с облачными хранилищами и интернетом вещей. Устройства дополненной и виртуальной реальности, в частности, носимые человеком (очки, шлемы), генерируют большие объемы данных, связанные с интернетом вещей, которые должны храниться и обрабатываться в режиме реального времени, что требует использования облачных хранилищ и облачных вычислений. Кроме того, устройства дополненной реальности должны считывать информацию об окружающей внешней среде и отправлять ее в облачную аналитическую систему.

Автор работы [Damiani et al., 2018] выделяет следующие ключевые технологии, используемые в системах дополненной реальности:

- технология отображения взаимодействия [Wu, Ren, 2010; Yang, 2011; Yu, Fang, Lu, 2017];
- технология отслеживания, позиционирования и регистрации [Yang, 2011; Zhang, Yi, 2012; Hong, Wenhua, 2017; Yu, Fang, Lu, 2017];
- технология взаимодействия человека с компьютером [Wang et al., 2010; Yang, 2011; Zhang, Yi, 2012; Hong, Wenhua, 2017];
- технология обнаружения и распознавания объектов [Yu, Fang, Lu, 2017];
- технология системного моделирования и анализа в трехмерном пространстве [Zhang, Yi, 2012];
- обнаружение столкновений [Wang et al., 2010].

Наиболее популярные системы дополненной/виртуальной реальности: Artoolkit, ARtag, Osgart, Vuforia [Damiani et al., 2018].

В статье [Gee et al., 2011] представлена топометрическая система, предназначенная для обеспечения эффективной передачи информации, относящейся к физическому миру, с использованием дополненной реальности. Система способна работать в режиме реального времени на больших площадях и для внутренних и наружных операций. Концепция системы объединила технологии локализованного картирования и отслеживания в реальном времени SLAM (Simultaneous Localisation And Mapping) с глобальным позиционированием как с помощью GPS, так и с помощью технологии внутреннего сверхширокополосного доступа UWB.

В системах, поддерживающих выполнение складских операций, актуальна задача интеграции технологии дополненной реальности с RFID. В работах [Ginters et al., 2013; Ginters, Martin-Gutierrez, 2013] было предложено концептуальное решение, объединяющее технологию RFID и AR для реализации системы подбора заказов.

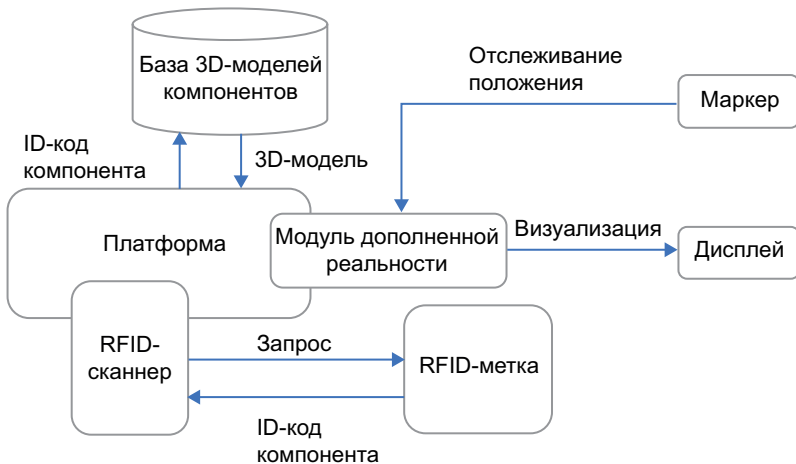


Рис. 3. Схема взаимодействия приложения дополненной реальности и RFID

Источник: Ginters E., Martin-Gutierrez J. Low cost augmented reality and RFID application for logistics items visualization // Procedia Computer Science. 2013. Vol. 26. P. 3–13. <doi: 10.1016/j.procs.2013.12.002>.

С помощью RFID-сканнера считывается идентификационный код единицы хранения склада/артикул (SKU) с RFID-метки. В базе 3D-моделей артикулов ищется соответствующая трехмерная модель и визуализируется на экране устройства дополненной реальности в соответствии с позиционированием объекта, определенным на основе маркера.

Применение технологии дополненной реальности

Согласно аналитическому отчету DHL [DHL Trend Research, 2015] и исследованию [Merlino, Sproge, 2017] перспективными направлениями применения дополненной реальности в цепях поставок являются:

- *Оптимизация подбора заказа.* Подборщик видит на дисплее устройства дополненной реальности «цифровой список подбора». Когда подборщик выбирает товар, устройство вычисляет наиболее эффективный путь через склад, и дисплей направляет подборщика к товару, сканирует его как «подобранный» в системе управления складом и немедленно направляет подборщика к следующему ближайшему товару согласно списку.
- *Планирование складских помещений.* С помощью технологии виртуальной/дополненной реальности склад может быть визуализирован в полном масштабе до начала строительства. Можно моделировать логистические процессы на складе, проводить тестовые измерения, выполнять перепроектирование зон — все это виртуально.
- *Погрузка коробок/паллет/контейнеров.* Грузчики видят на дисплее устройства дополненной реальности список товаров к погрузке и пошаговые инструкции, как наиболее эффективно загрузить контейнер с учетом размера, формы и веса, входящих в него товаров.
- *Динамическая поддержка движения.* Головные и лобовые дисплеи дополненной реальности позволяют водителям погрузчиков и другого подъемно-транспортного оборудования склада эффективно перенаправлять грузы на ходу, не производя дополнительных отвлекающих водителя действий. Водитель может видеть на дисплее критическую информацию касательно параметров маршрута движения.
- *Ремонт и возвратная логистика.* Технология дополненной реальности может быть применена для передачи видеопотока

от потребителя в сервисный отдел для более быстрого определения причин порчи товара длительного пользования и возможных способов ремонта и восстановления.

В работе [Stoltz et al., 2017] уточнены сферы применения дополненной реальности для поддержки логистических процессов на складе. При выполнении процесса приемки на дисплее дополненной реальности могут отображаться рампа разгрузки для водителя грузовика, перечень товаров по накладной на доставку для сверки с полученными товарами, место в зоне ожидания, в которое нужно поместить принятые товары. При размещении товаров в зоне хранения на дисплее могут отображаться новая задача размещения, место хранения, изображение и детали SKU, маршрут до места хранения, текущее состояние подборщика и его следующий шаг, места, требующие пополнения. При подборе заказа на дисплей подборщика передается информация: новая поставленная задача, изображение и сведения о товаре, который будет выбран, места хранения, маршрут комплектации, физическое местоположение с требуемым товаром, информация об ошибках и сбоях. Также с помощью устройства дополненной реальности осуществляется сканирование штрихкода номенклатуры для переноса в корзину комплектации или для просмотра дополнительной информации, определение, куда поместить каждый товар в корзине комплектации для сортировки при подборе, сбор информации для предотвращения заторов в проходах склада, контроль состояния и производительности подборщика. При отгрузке на дисплее устройства дополненной реальности могут отображаться: тип картона, который необходимо использовать, лучший способ размещения выбранных элементов в упаковке, правильное местоположение паллеты для отгрузки, правильное размещение каждого заказа на поддоне или в грузовике в зависимости от типа заказов, назначения, хрупкости, область загрузки. Также осуществляется проверка, подсчет товаров или заказов для погрузки на грузовик.

На современных, высококонкурентных рынках эффективное складирование имеет решающее значение, поскольку на него приходится значительная часть логистических затрат. Компании стараются использовать высокоадаптивный и гибкий дизайн складских помещений, который может способствовать интеграции новых технологий, таких как дополненная реальность. В статье [Mourtzis et al., 2019] предлагается система проектирования склада, которая минимизирует стоимость запасов при сохранении высокого уровня

обслуживания за счет поддержки интеграции системы складирования с дополненной реальностью. Система дополненной реальности поддерживает эффективное управление операциями, предоставляя значимую информацию. Предлагаемая методика была апробирована в реальном практическом исследовании бумажной промышленности.

В ряде работ [Novak-Marcincinetal, 2013; Damianietal, 2018] описаны возможности применения технологии дополненной реальности в производственных процессах. Большинство приложений дополненной реальности в производстве сосредоточены на ручных процессах сборки, предоставляя пользователям рабочие инструкции о том, как выполнить действие. Инструкции пользователю также предоставляются в процессах технического обслуживания и обучения, проверки качества продукции, настройки обработки, комплектации заказов. Для этих приложений можно выделить две технологические инновации: создание решений, которые могут адаптироваться в соответствии с пользовательским опытом, и использование дистанционной помощи, что снижает потребность в наличии специалистов на месте и, следовательно, затраты времени и средств.

Приложения дополненной реальности также применяются для повышения безопасности пользователей в ситуациях, требующих взаимодействия человека и робота. Приложение визуализирует траекторию движения робота, показывая, где находятся зоны риска аварии. Авторы работы [Blankemeyer et al., 2018] представили пример использования дополненной реальности в программировании действий робота в сборочном процессе. Другие исследователи [Chadalavada et al., 2020] применили систему дополненной реальности для обеспечения безопасности передвижений на складе при взаимодействии человека и робота. Также приложения показывают пользователям во время операции, где расположены зоны риска.

Системы дополненной реальности могут быть использованы для планирования размещения производственной линии [Herr et al., 2018].

Некоторые приложения предлагают быстрый анализ ситуации и принятие решения на месте, где происходит этот процесс. В статье [Sauer et al., 2010] описывается общая архитектура телематической системы управления, используемая для обследования производственной рабочей ячейки, и показано, как дополненная реаль-

ность может помочь оператору более четко схватывать события и условия на удаленном объекте, таким образом получая лучшую ситуационную осведомленность.

Перспективы применения технологии дополненной реальности в техническом обслуживании авиатехники показаны в работе [Ceruti et al., 2019], дополненной реальности в системе мониторинга беспилотных транспортных средств в сельском хозяйстве предлагают [Huuskonen, Oksanen, 2019], использование очков дополненной реальности для повышения безопасности поездок на велосипедах описывает [Ginters, 2019].

В работе [Vanderroost et al., 2017] исследуются возможности использования виртуальной реальности в процессе проектирования упаковки продукта, что позволяет получить обратную связь без необходимости физического прототипа. Дизайнеры, ученые, инженеры и даже потребители могут виртуально просматривать, взаимодействовать, манипулировать или изменять дизайн в его фактическом размере и судить о его внешнем виде и функциональных возможностях.

Требования к устройствам дополненной реальности

Кроме того, что предлагаются новые сферы и способы применения приложений дополненной реальности, ряд работ посвящен исследованию и оценке эффективности использования устройств дополненной реальности. В статье [Hanson et al., 2017] описывается тестирование технологии дополненной реальности для передачи информации в процессе комплектации одного заказа и партии заказов. Эксперимент показал, что применения технологии дополненной реальности особенно эффективно для обеспечения комплектации партии, так как существенно возрастают объемы информации. В статье [Elbert et al., 2018] исследуется, насколько результаты подбора заказов и обучающие эффекты, достигаемые в виртуальной реальности с использованием головных устройств, переносимы в реальность. В работе [Elbert et al., 2019] представлены результаты проверки эффективности обучения подбору заказов в виртуальной среде. В работах [Horejsi, 2015; Fast-Berglund et al., 2018; Terhoeven et al., 2018] приведены результаты тестирования технологий дополненной и виртуальной реальности для поддержки процессов сборки. Исследование влияния технологии виртуальной реальности на эффективность работы оператора критически важной для безопасности системы на при-

мере морской навигации представлено в работе [Grabowski et al., 2018].

В работе [Kim et al., 2019] исследовано, как различные типы головных дисплеев и дизайны пользовательского интерфейса влияют на воспринимаемую рабочую нагрузку, удобство использования, визуальный дискомфорт и производительность работы на складе, включая выполнение подбора заказа и сборки деталей. Шестнадцать участников эксперимента выполнили имитационное задание во всех комбинациях двух типов головных дисплеев (бинокулярный или монокулярный) и четырех видов пользовательского интерфейса, различающихся способом вывода информации (текстовый или графический) и доступностью информации (всегда или по требованию); также для сравнения было выполнено задание с использованием бумажного списка. Результаты показали, что производительность работы, рабочая нагрузка и удобство применения в большей степени зависели от дизайна пользовательского интерфейса, чем от типа головного дисплея. Например, графический пользовательский интерфейс сократил время выполнения задания и количество ошибок на 13 и 59% соответственно. Участники не имели сильного предпочтения ни к одному из типов головного дисплея, указывая, что испытанные физические конструкции головных дисплеев являются неоптимальными.

На основе интервью менеджеров и экспертов в области логистики складирования, а также лабораторных и промышленных экспериментов [Stoltz et al., 2017] был выявлен ряд требований к устройствам дополненной реальности:

- пользовательский интерфейс не должен требовать специальных знаний: должен быть простым и дружелюбным;
- управление устройством должно осуществляться голосовыми командами, без требования выполнять дополнительные нажатия руками;
- устройство должно давать как визуальные, так и голосовые инструкции;
- устройство должно быть удобным для ношения, не закрывать обзор;
- сканирование с использованием автофокусирующейся камеры или считывателя QR-кода или штрихкода должно проводиться быстро и точно;

- экран должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить чтение информации и широту обзора;
- устройство должно быть достаточно прочным для использования в промышленных условиях, нечувствительно к пыли, возможным ударам;
- устройство должно быть легко программируемым на распространенном языке программирования;
- заряда устройства должно хватать на долгое время.

Преимущества применения технологии дополненной реальности

В исследованиях [Stoltz et al., 2017; De Souza Cardoso, 2020] отмечаются преимущества, которые дает применение технологии дополненной реальности в производственных и логистических процессах:

- Уменьшение количества ошибок:
 - нет необходимости запоминать последовательность действий;
 - устройство показывает изображение искомого продукта, что помогает его идентифицировать в поле зрения;
 - необходимость принятия решений ограничена, система подсказывает следующий шаг;
 - легко может быть выполнена автоматическая двойная проверка, например, путем автоматического распознавания продукта и сверки местоположения;
 - последовательность выполнения шагов будет правильной, даже если оператор отвлекся.
- Повышение гибкости:
 - устройство оставляет руки свободными, что удобно для выполнения операций;
 - информация может быть выведена на дисплей в любом месте склада и в любое время.
- Повышение надежности:
 - есть возможность показать фото или видео обнаруженного дефекта либо проконсультироваться с менеджером, который территориально находится в другом месте;
 - работа требует меньшей концентрации, поскольку инструкции легко показываются на экране.
- Увеличение скорости обучения работе и адаптации новых сотрудников:

- устройство показывает инструкции касательно способов выполнения операций, маршрутов передвижения, объектов, над которыми действия должны быть выполнены.
- Увеличение скорости выполнения операций:
 - уменьшается количество ошибок и не нужно переделывать работу;
 - сокращаются перемещения к стационарному компьютеру и сканеру;
 - система подсказывает оптимальный маршрут, что сокращает перемещения.
- Повышение безопасности операций:
 - у оператора свободны руки, что делает выполнение некоторых операций более безопасным;
 - устройство предупреждает об опасности и подсказывает более безопасные способы выполнения операции.
- Адаптивность решения:
 - устройство не требует особой инфраструктуры, поскольку пользователь носит устройство на себе;
 - устройство может быть использовано людьми с ограниченными способностями, так как не требуются манипуляции руками.
- Улучшение имиджа компании за счет использования новых технологий:
 - повышает энтузиазм среди молодых сотрудников;
 - повышает удовлетворенность конечного потребителя.

Проблемы и ограничения систем дополненной реальности

Среди проблем и ограничений использования технологии дополненной реальности в производственных и логистических процессах отмечают:

- Несовершенство устройств дополненной реальности. Авторы исследования [Syberfeldt et al., 2016; Danielsson et al., 2018] утверждают, что пользователи должны иметь свободные руки и поле зрения большую часть времени, когда они работают, чтобы правильно выполнять свою деятельность, поэтому использование ручных устройств или проекторов не подходит для этих условий. Кроме того, [Syberfeldt et al., 2017; Chalhoub et al., 2018] отмечают, что шум и условия безопасности могут влиять на производительность пользователя при применении голосовых команд с системами дополненной реальности. Альтернативой

этому ограничению является использование головных дисплеев, но они недостаточно хорошо и быстро функционируют по сравнению с ручными устройствами [Blanco-Novoa et al., 2018; Liu et al., 2017]. Коммерческие сканеры и камеры смартфонов обеспечивают более быстрое и надежное сканирование штрих-кодов и QR-кодов, чем устройства дополненной реальности. Заряда батареи устройства не хватает на полный рабочий день, а ношение дополнительных батарей для оператора обременительно. Процессоры устройств дополненной реальности перегреваются и замедляют работу после долгого времени использования или сложных вычислений, что может повлиять на физическое выполнение процессов. Яркость экрана не адаптируется автоматически при изменении освещения, например, при перемещении из помещения.

- Недостатки программного обеспечения. Программная среда и языки программирования для устройств дополненной реальности не стандартизованы, что затрудняет для практиков проведение экспериментов с устройствами, разработку собственных приложений и интеграцию устройств с существующими системами. Во избежание ошибок интерфейс взаимодействия с системой должен быть прост и интуитивно понятен для пользователя.

- Негативное влияние на здоровье и самочувствие пользователя. Устройства дополненной реальности задействуют поле зрения, которое меньше, чем у человека, что может вызвать головную боль, головокружение и тошноту после длительного периода использования. Кроме того, ношение головного дисплея связано с дискомфортом, вызванным весом и ограничением применения для пользователей, которым необходимо использовать обычные очки [Fiorentino et al., 2014; Nao et al., 2017; Nee et al., 2012; Yew et al., 2016].

- Несовершенство методов отслеживания, локализации и картирования. Использование маркеров не является идеальным вариантом для производственной среды, поскольку они могут быть заслонены сборочными компонентами, инструментами и тенями во время производственных процессов [Fang et al., 2014]. Кроме того, размер и положение маркеров может мешать выполнять действия [Liu et al., 2017]. Существуют методы отслеживания без использования маркеров, но они недостаточно проработаны и требуют длительного времени настройки [Soete et al., 2015; Hou et al., 2014].

- Низкое качество и точность проекции виртуальных объектов. Проблема связана, во-первых, с неточностью метода отслеживания, из-за чего виртуальные элементы не могут быть правильно размещены. Во-вторых, плохое качество изображения связано с задержкой. По данным [Lee, 2018; Liu et al., 2017] алгоритмы визуализации в реальном времени должны быть оптимизированы для обеспечения лучшей визуализации.
- Разработка приложения дополненной реальности требует глубоких знаний, что часто связано с высокими затратами на внедрение [Herr et al., 2018; Kollatsch et al., 2014]. Затраты особенно высоки, если используются персональные носимые устройства — из соображений гигиены. Кроме того, в настоящее время ИТ-отдел компании не в состоянии собственными силами внедрить или доработать систему дополненной реальности.

Список литературы

Azuma R. A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 1997. Vol. 4. P. 355–385.

Azuma R., Behringer R., Feiner S. Recent advances in augmented reality // IEEE Computer Graphics and Applications. 2001. Vol. 21. P. 1–27.

Blanco-Novoa O., Fernandez-Carames T.M., Fraga-Lamas P. A practical evaluation of commercial industrial augmented reality systems in an industry 4.0 Shipyard // IEEE Access. 2018. Vol. 6. <<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2802699>>; <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8281493/>>.

Blankemeyer S., Wiemann R., Posniak L. et al. Intuitive Robot Programming Using Augmented Reality, Procedia CIRP. 2018. Vol. 76. P. 155–160. <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.028>>.

Ceruti A., Marzocca P., Liverani A., Bil C. Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing // Journal of Computational Design and Engineering. 2019. Vol. 6 (4). P. 516–526. <<https://doi.org/10.1016/j.jcde.2019.02.001>>.

Chadalavada R.T., Andreasson H., Schindler M. et al. Bi-directional navigation intent communication using spatial augmented reality and eye-tracking glasses for improved safety in human–robot interaction // Robotics and Computer Integrated Manufacturing. 2020. Vol. 61. <<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101830>>.

Chalhoub J., Ayer S.K. Using Mixed Reality for electrical construction design communication // *Automation in Construction*. 2018. Vol. 86. P. 1–10. <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.028>>.

Cirulis A., Ginters E. Augmented reality in logistic // *Procedia Computer Science*. 2013. December. Vol. 26. Available from: P. 14–20. Available from: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913012751>>.

Damiani L., Demartini M., Guizzi G. et al. Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era // *IFAC-Papers OnLine*. 2018. Vol. 51 (11). P. 624–630. <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.388>>.

De Souza Cardoso L.F., Mariano F.C.M.Q., Zorzal E.R. A survey of industrial augmented reality // *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Vol. 139. P. 1–12.

DHL Trend Research (2015) DHL Global Technology Conference “Augmented Reality in Logistics”. 2016. April 16. Dubai.

Elbert R., Knigge J.-K., Makhlouf R., Sarnow T. Experimental study on user rating of virtual reality applications in manual order picking // *IFAC-Papers OnLine*. 2019. Vol. 52 (13). P. 719–724. <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.200>>.

Elbert R., Knigge J.-K., Sarnow T. Transferability of order picking performance and training effects achieved in a virtual reality using head mounted devices // *IFAC-Papers OnLine*. 2018. Vol. 51 (11). P. 686–691. <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.398>>.

Fang H.C., Ong S.K., Nee A.Y. A novel augmented reality-based interface for robot path planning // *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. 2014. Vol. 8. P. 33–42. <<https://doi.org/10.1007/s12008-013-0191-2>>.

Fast-Berglund A., Gong L., Li D. Testing and validating Extended Reality (xR) technologies in manufacturing // *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 25. P. 31–38. <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.054>>.

Fiorentino M., Uva A.E., Gattullo M. et al. Augmented reality on large screen for interactive maintenance instructions // *Computers in Industry*. 2014. Vol. 65. P. 270–278. <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.11.004>>.

Gee A.P., Webb M., Escamilla-Ambrosio J. et al. A topometric system for wide area augmented reality // *Computers & Graphics*. 2011. Vol. 35 (4). P. 854–868. <<https://doi.org/10.1016/j.cag.2011.04.006>>.

Ginters E. Augmented reality use for cycling quality improvement // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 149. P. 167–176. <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.120>>.

Ginters E., Cirulis A., Blums G. Markerless Outdoor AR-RFID Solution for Logistics // *Procedia Computer Science*. 2013. Vol. 25. P. 80–89. <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.010>>.

Ginters E., Martin-Gutierrez J. Low cost augmented reality and RFID application for logistics items visualization // *Procedia Computer Science*. 2013. Vol. 26. P. 3–13. <[doi: 10.1016/j.procs.2013.12.002](https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.12.002)>.

Grabowski M., Rowen A., Rancy J.-Ph. Evaluation of wearable immersive augmented reality technology in safety-critical systems // *Safety Science*. 2018. Vol. 103. P. 23–32. <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.11.013>>.

Hanson R., Falkenström W., Miettinen M. Augmented reality as a means of conveying picking information in kit preparation for mixed-model assembly // *Computers & Industrial Engineering*. 2017. Vol. 113. P. 570–575. <<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.048>>.

Hao Y., Helo P. The role of wearable devices in meeting the needs of cloud manufacturing: A case study // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2017. Vol. 45. P. 168–179. <<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.10.001>>.

Herr D., Reinhardt J., Reina G. et al. Immersive modular factory layout planning using augmented reality // *Procedia CIRP*. 2018. Vol. 72. P. 1112–1117. <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.200>>.

Hong Z., Wenhua L. Architecture and Key Techniques of Augmented Reality Maintenance Guiding System for Civil Aircrafts // *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. Vol. 787 (1). <[doi: 10.1088/1742-6596/787/1/012022](https://doi.org/10.1088/1742-6596/787/1/012022)>.

Horejsi P. Augmented Reality System for Virtual Training of Parts Assembly // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 100. P. 699–706. <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.422>>.

Hou L., Wang Y., Wang X. et al. Combining photogrammetry and augmented reality towards an integrated facility management system for the oil industry // *Proceedings of the IEEE*. 2014. Vol. 102. P. 204–220. <<https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2295327>>.

Huuskonen J., Oksanen T. Augmented Reality for Supervising Multirobot System in Agricultural Field Operation // *IFAC-Papers OnLine*. 2019. Vol. 52 (30). P. 367–372. <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.568>>.

Kim S., Nussbaum M.A., Gabbard J.L. Influences of augmented reality head-worn display type and user interface design on performance and usability in simulated warehouse order picking // *Applied Ergonomics*. 2019. Vol. 74. P. 186–193. <<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.026>>.

Kollatsch C., Schumann M., Klimant P. et al. Mobile augmented reality-based monitoring of assembly lines // *Procedia CIRP*. 2014. Vol. 23. P. 246–251. <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.100>>.

Lee H. Real-time manufacturing modeling and simulation framework using augmented reality and stochastic network analysis // *Virtual Reality*. 2018. P. 1–15. <<https://doi.org/10.1007/s10055-018-0343-6>>; <<http://link.springer.com/10.1007/s10055-018-0343-6>>.

Liu C., Cao S., Tse W., Xu X. Augmented reality-assisted intelligent window for cyber-physical machine tools // *Journal of Manufacturing Systems*. 2017. Vol. 44. P. 280–286. <<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.04.008>>.

Liu C., Cao S., Tse W., Xu X. Augmented reality-assisted intelligent window for cyber-physical machine tools // *Journal of Manufacturing Systems*. 2017. Vol. 44. P. 280–286. <<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.04.008>>.

Liu F., Seipel S. On the precision of third person perspective augmented reality for target designation tasks // *Multimedia Tools and Applications*. 2017. Vol. 76. P. 15279–15296. <<https://doi.org/10.1007/s11042-016-3817-0>>.

Merlino M., Sproge I. The Augmented Supply Chain // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 178. P. 308–318. <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.053>>.

Mourtzis D., Samothrakis V., Zogopoulos V., Vlachou E. Warehouse Design and Operation using Augmented Reality technology: A Papermaking Industry Case Study // *Procedia CIRP*. 2019. Vol. 79. P. 574–579. <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.097>>.

Nee A.Y., Ong S.K., Chryssolouris G., Mourtzis D. Augmented reality applications in design and manufacturing // *CIRP Annals — Manufacturing Technology*. 2012. Vol. 61. P. 657–679. <<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.010>>.

Nishihara A. Object recognition in assembly assisted by augmented reality system object recognition in assembly assisted by augmented reality system. 2015. <<https://doi.org/10.1109/IntelliSys.2015.7361172>>.

Novak-Marcincin J., Barna J., Janak M., Novakova-Marcincinova L. Augmented Reality Aided Manufacturing // *Procedia Computer Science*. 2013. Vol. 25. P. 23–31. <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.004>>.

Sauer M., Leutert F., Schilling K. An Augmented Reality Supported Control System for Remote Operation and Monitoring of an Industrial Work Cell // *IFAC Proceedings Volumes*. 2010. Vol. 43 (23). P. 83–88. <<https://doi.org/10.3182/20101005-4-RO-2018.00030>>.

Soete N., Claeys A., Hoedt S. et al. Towards mixed reality in SCADA applications // *IFAC-Papers OnLine*. 2015. Vol. 28. P. 2417–2422. <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.450>>.

Stoltz M.-E., Giannikas V., McFarlane D. Augmented Reality in Warehouse Operations: Opportunities and Barriers // *IFAC-Papers OnLine*. 2017. Vol. 50 (1). P. 12979–12984. <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1807>>.

Syberfeldt A., Danielsson O., Gustavsson P. Augmented reality smart glasses in the smart factory: Product evaluation guidelines and review of available products // IEEE Access. 2017. Vol. 5. P. 9118–9130. <<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2703952>>.

Syberfeldt A., Danielsson O., Holm M., Wang L. Visual assembling guidance using augmented reality // Procedia Manufacturing. 2015. Vol. 1. P. 98–109. <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.068>>.

Syberfeldt A., Holm M., Danielsson O. et al. Support systems on the industrial shop-floors of the future — operators' perspective on augmented reality // Procedia CIRP. 2016. Vol. 44. P. 108–113. <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.017>>.

Terhoeven J., Schiefelbein F.-P., Wischniewski S. User expectations on smart glasses as work assistance in electronics manufacturing // Procedia CIRP. 2018. Vol. 72. P. 1028–1032. <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.060>>.

Vanderroost M., Ragaert P., Verwaeren J. et al. The digitization of a food package's life cycle: Existing and emerging computer systems in the logistics and post-logistics phase // Computers in Industry. 2017. Vol. 87. P. 15–30. <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.01.004>>.

Wang Y., Shen Y., Liu D. et al. Key technique of assembly system in an augmented reality environment // ICCMS 2010 — 2010 International Conference on Computer Modeling and Simulation. 2010. Vol. 1. P. 133–137. <[doi: 10.1109/ICCMS.2010.201](https://doi.org/10.1109/ICCMS.2010.201)>.

Wu X., Ren F. Mechanism and methods of outdoor AR spatial information visualization representation // ICCMS 2010 — 2010 International Conference on Computer Modeling and Simulation. 2010. P. 272–276. <[doi: 10.1109/ICCMS.2010.39](https://doi.org/10.1109/ICCMS.2010.39)>.

Yang R. The study and improvement of Augmented reality based on feature matching // ICSESS 2011 — Proceedings: 2011 IEEE 2nd International Conference on Software Engineering and Service Science. 2011. P. 586–589. <[doi: 10.1109/ICSESS.2011.5982388](https://doi.org/10.1109/ICSESS.2011.5982388)>.

Yew A.W., Ong S.K., Nee A.Y. Towards a griddable distributed manufacturing system with augmented reality interfaces // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2016. Vol. 39. P. 43–55. <<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.12.002>>.

Yu J., Fang L., Lu C. Key technology and application research on mobile augmented reality // Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences, ICSESS. 2017. P. 547–550. <[doi: 10.1109/ICSESS.2016.7883129](https://doi.org/10.1109/ICSESS.2016.7883129)>.

Zhang H., Yi S.Z. Research on Key Technology of Intelligent Terminal Navigation Based on Augmented Reality // Advanced Materials Research. 2012. Vol. 629. P. 848–852. <[doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.629.848](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.629.848)>.

3.2. Перспективы применения цифровых технологий анализа больших данных и предиктивной аналитики

До недавнего времени данные обычно воспринимались большинством организаций как компонент информационной системы. Однако в цифровом мире данные стали значительным бизнес-активом, который может стать драйвером для принятия верных решений и улучшить экономические показатели организаций [OECD, 2016; Davenport, Patil, 2012]. Для претворения в жизнь преимуществ от анализа большего количества в цепях поставок необходимы детальные исследования в области науки о данных, предсказательной аналитики и Big Data [Waller, Fawcett, 2013].

Эти инструменты могут изменить процесс управления и проектирования цепей поставок, предоставляя новые возможности и вызовы для логистики и УЦП.

Обычно, наука о данных — это практическое применение количественных и качественных методов для поиска решения проблем и прогнозирования будущих результатов. При этом важно не разделять анализ и знания предметной области. Специалисты по обработке и анализу данных в УЦП должны владеть теоретическими знаниями и знанием логистических бизнес-процессов, уметь применять методы анализа данных из разных научных направлений, таких как статистика, прогнозирование, оптимизация, дискретное моделирование, теория вероятностей, аналитическое математическое моделирование, финансы, экономика, маркетинг и бухгалтерский учет.

Предиктивная (предсказательная) аналитика является разновидностью науки о данных. В логистике предиктивная аналитика представляет собой использование количественных и качественных методов для оценки различных показателей логистической деятельности (например, уровень запасов, затрат и сервиса) в прошлом и будущем. В УЦП предсказательная аналитика использует количественные и качественные методы для улучшения проектирования цепей поставок и конкурентоспособности цепей поставок за счет оценки уровня интеграции и взаимодействия бизнес-процессов в прошлом и будущем.

Аналитика больших баз данных (Big Data)

Концепция больших данных была впервые упомянута в статье электронной библиотеки АСМ в октябре 1997 года [Gil Press, 2012] в качестве описания проблемы визуализации достаточно больших наборов данных в компьютерных науках. С тех пор она привлекает к себе особое внимание и исследуется как в научных, так и в практических целях.

Большие данные представляют собой большие и сложные, часто неструктурированные наборы данных, которые были собраны из большого количества разных источников, включая Интернет, социальные медиа, датчики, сенсоры, текстовые сообщения, видеоизображения и аудиофайлы, а также другие часто неструктурированные источники информации. Различные форматы, получаемые с датчиков, с изображений, видео и файлов являются препятствием для передовых аналитических инструментов, которые в процессе извлечения информации создают ценность для бизнеса и повышают качество предоставляемых цифровых услуг клиентам.

По данным компании Intel, к 2020 году отраслевые источники прогнозируют, что количество подключенных устройств достигнет 200 млрд. Такая статистика практически означает повсеместное взаимодействие физических объектов с людьми и сбором сведений о каждом таком объекте и окружающей среде.

В частном секторе многие руководители уже оценили важность данных и их роль в поддержке цифровых технологий и инноваций и выделили концепцию Big Data как одну из передовых для будущих успехов. Применение данной технологии нашло широкое распространение из-за ее доступности в точки зрения затрат [McAfee, Brynjolfsson, 2012]. По анализу компании EY, 79% предприятий считают, что Big Data будут иметь большее влияние на величину прибыли, а 59% руководителей будут использовать их для более полного понимания потребностей клиентов.

Достаточно давно УЦП начало фокусироваться на сборе и хранении огромного количества данных. Однако выполнение таких задач сталкивается с рядом вызовов, когда речь идет о полном использовании больших объемов информации. В научной литературе существует разделение вызовов (5V), связанных с Big Data и его применением в УЦП, на пять основных групп [Zhong et al., 2016; Schoenherr, Speier-Pero, 2015; Roßmann et al., 2018].

Объем данных. Огромное количество данных генерируется каждую секунду во всем мире. Например, подсчитано, что производитель предметов личной гигиены генерирует 5000 выборок данных каждые 33 миллисекунды, 152 тыс. в секунду, 9 млн в минуту, 13 млрд в день и 4 трлн в год. [Markopoulos, 2012]. Накопление все больших и больших наборов данных оказывает существенное влияние на работу серверов и систем по сбору, хранению и передаче данных внутри цепи поставок.

Скорость передачи данных. Скорость обработки огромного количества данных является существенным, поскольку решения на основе различных данных должны приниматься настолько быстро, насколько это возможно. Она в основном зависит от скорости сбора данных, надежности передачи данных, эффективности хранения данных, скорости работы обнаружения полезных знаний (или данных), а также моделей принятия решений и алгоритмов.

Разнородность данных. Поступающие данные, как правило, различаются в зависимости от различных источников и разнородных форматов. Новые типы данных могут быть получены от различных датчиков и сенсоров, используемых при транспортировке, хранении, распределении и создании материального потока. Интеграция таких разнообразных данных в единый стандартный формат требует более общего и сложного процесса обработки данных.

Проверка данных. Существует великое множество плохих данных (например, шумы, некорректно оформленные атрибуты данных и т.д.), которые должны быть проверены, чтобы исключить их влияние на принятие решений на основе Big Data. Механизм верификации данных должен быть прозрачным и высоко защищенным инструментом для автоматической проверки качества входящей информации.

Качество и надежность данных сильно влияют на принятие решений в УЦП [Hazen et al., 2014]. По некоторым оценкам плохое качество исходных данных может привести организации к значительным убыткам и потерям. Таким образом, необходим контроль за качеством данных, которые используются в аналитических моделях.

В качестве метода контроля качества данных можно использовать контрольные графики, где можно установить верхний и нижний уровень качества.

Ценность данных. Ценность использования больших данных трудно выявить в цепях поставок. Во-первых, извлекать ценность из больших данных сложно из-за препятствий, вызванных предыдущими четырьмя факторами. Во-вторых, ценность отчетов, статистических данных и решений, полученных с помощью технологии больших данных, трудно измерить из-за большого влияния на микро- и макроуровнях.

Технология больших данных позволяет эффективно получать, интегрировать, хранить и использовать данные, генерируемые агентами цепи поставок. Консалтинговая компания Accenture в 2016 году опубликовала отчет по цифровизации цепей поставок, где говорится помимо всего прочего о том, что современная сеть цифровой модели поставок должна быть оснащена расширенной аналитикой данных, которая будет внедрена во всех бизнес-процессах.

Отдельно необходимо сказать о преимуществах аналитики больших данных (Big Data analytics — BDA), которые позволяют организациям повышать эффективность и качество своих бизнес-процессов за счет эффективного управления ими [Kache, Seuring, 2017]. Успешная интеграция BDA и бизнес-процессов может создать «новый класс экономических активов» и помочь топ-исполнительным организациям пересмотреть свой бизнес и превзойти своих конкурентов [Anand, 2013].

Современную технологию аналитики больших данных можно поделить на четыре важных элемента [Zhong et al., 2016]:

- 1) хранение данных;
- 2) обработка данных;
- 3) визуализация данных;
- 4) аналитика данных для принятия решений.

Современное хранение данных, получаемых с различных типов подключенных устройств, необходимо для их визуализации и анализа. Следовательно, технологии хранения данных являются одним из наиболее важных аспектов, который включает аппаратное обеспечение и системы или механизмы хранения данных.

В последнее время в некоторых секторах экономики можно видеть примеры использования высокопроизводительных вычислительных систем (High-performance computing — HPC), где появляется возможность получить результат от больших данных в виде более эффективного принятия решений. Однако большие данные в основном связаны с диверсифицированным, неструкту-

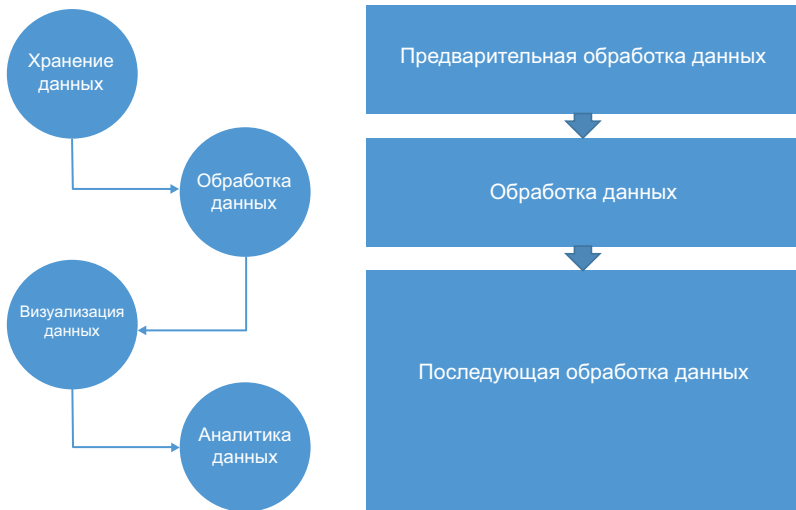


Рис. 4. Структура системы обработки больших данных

Источник: Гортон И., Клейн Д. Системы для больших данных: конвергенция архитектур. <<https://www.osp.ru/os/2015/03/13046898/>>.

рированным и разнородным набором исходных данных, которые зависят от быстрого и эффективного хранения.

Большое количество данных можно хранить на серверах компании. Данный способ хранения данных связан с большими затратами на покупку серверов и их размещение на местах хранения. Правда есть и свои преимущества — прежде всего высокая безопасность и сохранность данных, а также независимость от подключения к сети Интернет и его скорости.

Вторым способом хранения данных является новая цифровая технология — так называемое облачное хранение [Rovmann et al., 2018], когда данные хранятся в удаленных серверах, поэтому нет необходимости выделять место под хранение серверов данных и вкладывать значительные денежные средства в их покупку. Облачные сервисы хранения данных, помимо собственно хранения данных, имеют удобный интерфейс для доступа к хранимой информации, что повышает использование таких сервисов и увеличивает уровень прозрачности данных внутри цепей поставок.

Анализ исследований в области аналитики больших баз данных показал, что среди основных преимуществ применения данного инструмента выделяют повышение уровня взаимодействия между агентами цепи поставок [Long, 2017; Wolfert et al., 2017; Gupta et al., 2019; Dubey et al., 2019; Shafiq et al., 2019]. Исследователи утверждают [Dubey et al., 2019a; Dubey et al., 2019b], что использование анализа данных создает благоприятную доверительную сферу, в которой сотрудничество между агентами цепи поставок становится более эффективным.

Следствием этого можно назвать еще одно преимущество [Yu et al., 2018; 2019; Voone et al., 2019] — получение более точной и прозрачной оперативной информации, улучшение процесса планирования и точности прогнозирования за счет новых возможностей обработки, хранения и визуализации данных. Исследования показывают, что извлечение и анализ новых данных, а также информации о показателях цепи поставок (метрики, KPI) способствуют улучшению функций контроллинга и мониторинга ЦП [Dev et al., 2019].

Отдельно отмечают сильное влияние больших данных на быстрый и эффективный вывод новых продуктов на рынок, улучшение качества предоставляемых услуг и продуктов [Zhan, Tan, 2020,] повышение уровня сервиса и обслуживания клиентов в цепи поставок [Rehman et al., 2016; Xiang, Xu, 2019; Witkowski, 2017; Nimmagadda et al., 2019; Li et al., 2016; Singh et al., 2018].

Модели Big Data выявляют новые возможности повышения эффективности принятия решений, например, улучшение взаимоотношений с поставщиками и предупреждение возможных проблем с поставками [Cheng et al., 2017; Singh et al., 2018; Maghsoodi et al., 2018], активное их использование при моделировании новых автономных бизнес-моделей для повышения уровня интеграции бизнес-процессов по всей цепи поставок [Weihrauch et al., 2018; Li, Liu, 2019; Venkatesh et al., 2020], при управлении рисками в цепях поставок [Hung, He, Shen, 2019], а также для ускорения и улучшения принятия решений во всех бизнес-процессах цепи поставок [Gunasekaran et al., 2017; Filip, Duta, 2015; Arunachalam et al., 2018]. При этом еще большее внимание уделяется барьерам по доступности и обработке данных, которые становятся ключевыми для дальнейшего развития компаний [Moktadir et al., 2019].

Стоит также отметить, что значительная доля исследований [Nguyen et al., 2018] касается оптимизации маршрутов с помощью

технологии аналитики больших баз данных. В данном случае анализируются данные о дорожном состоянии, погодных условиях, геолокации и т.д. [Dudek et al., 2019]. Наконец, аналитика больших баз данных положительно сказывается на устойчивости цепей поставок [Badiezhadeh et al., 2018; Bag et al., 2020; Hazen et al., 2016; Belaud et al., 2019; Singh, El-Kassar, 2019; Wu et al., 2017].

Аналитика больших баз данных и интернет вещей

Важно отметить связь Big Data с другой цифровой технологией — интернетом вещей. Данные, которые анализируются в Big Data собирают как раз из подключенных к цифровому миру различных объектов. Число таких объектов постоянно увеличивается, что значительно повысит важность анализа Big Data в самое ближайшее время.

Для повышения точности прогноза в потребностях покупателя в продуктах можно использовать данные, полученные из социальных сетей. Например, количество людей, которым понравился тот или иной продукт, является еще одним источником информации для проведения маркетинговой политики продвижения товара на рынок, что в свою очередь влияет на уровень запаса данного продукта в цепи поставок. Вследствие чего у компании появляется возможность более точно прогнозировать спрос и повышать логистический сервис.

RFID-метки и сенсоры можно использовать непосредственно в магазине для контроля за перемещением потребителя (установив сенсоры в тележки), что в дальнейшем позволит выявить те продукты, у которых потребитель задерживается больше всего. Данные сенсоры можно установить на каждую единицу продукта для отслеживания их наличия и перемещения.

Глобальные цепи поставок и логистические процессы имеют серьезный рост количества информационных потоков и данных, получаемых о местонахождении и состоянии товаров, сырья, материалов, элементов складской и транспортной инфраструктуры, а также наличия товаров на полке. Такие данные генерируются с помощью подключения к ним сенсоров, датчиков, RFID-меток и т.д. Здесь ярко выражена взаимосвязь количества данных (Big Data) и подключенных к цифровому миру вещей (IoT). Другими словами, концепция больших данных напрямую связана с технологией интернета вещей, которая также позволяет улучшить процесс принятия решений в УЦП [Ben-Daya, 2019; Venkatesh et al., 2020].

Глобальная логистическая отрасль имеет постоянно растущее количество больших данных, создаваемых и получаемых в режиме реального времени от различных цифровых устройств. Такие большие объемы данных содержат новые источники конкурентных преимуществ для логистики и агентов цепей поставок, в частности улучшение прозрачности цепи поставок, снижение «эффекта хлыста», возможность регулирования уровня запасов в режиме реального времени, а также более глубокое и полное понимание потребностей потребителей, что ведет к улучшению уровня сервиса, в том числе логистического [Zhong et al., 2016].

Несмотря на этот факт, четко виден недостаток исследований касательно влияния аналитики больших баз данных на уровень затрат агентов цепи поставок и отсутствуют детальные примеры эффективного применения аналитики больших баз данных в логистических бизнес-процессах.

Список литературы

Anand A., Wamba S.F., Gnanzou D. A Literature Review on Business Process Management, Business Process Reengineering, and Business Process Innovation // Enterprise and organizational modeling and simulation. 2013. Vol. 153. P. 1–23.

Arunachalam D., Kumar N., Kawalek J.P. Understanding big data analytics capabilities in supply chain management: Unravelling the issues, challenges and implications for practice // Transportation Research. Part E. 2018. Vol. 114. P. 416–436.

Badiezadeh T., Saen R.F., Samavati T. Assessing sustainability of supply chains by double frontier network DEA: A big data approach // Computers and Operations Research. 2018. Vol. 98. P. 284–290.

Bag S., Wood L.C., Xu L. et al. Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance // Resources, Conservation & Recycling. 2020. Vol. 153. P. 1–10.

Belaud J.P., Prioux N., Vialle C., Sablayrolle C. Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain // Computers in Industry. 2019. Vol. 111. P. 41–50.

Ben-Daya M. Internet of things and supply chain management: A literature review // International journal of production research. 2019. Vol. 57. Iss. 15–16.

Big Data: Using big data in tax administrations, Technologies for better tax administration: a practical guide for revenue bodies // OECD, 2016.

Boone T., Ganeshan R., Jain A., Sanders N.R. Forecasting sales in the supply chain: Consumer analytics in the big data era // *International Journal of Forecasting*. 2019. Vol. 35. P. 170–180.

Cheng Y., Peng J., Zhou Z. et al. A Hybrid DEA-Adaboost Model in Supplier Selection for Fuzzy Variable and Multiple Objectives // *IFAC-Papers OnLine*. 2017. Vol. 50 (1). P. 12255–12260.

Davenport T., Patil D. Data Scientist: The Sexiest Job of the 21st Century // *Harvard Business Review*. 2012. Vol. 90. P. 70–76.

Dev N.K., Shankar R., Gupta R., Dong J. Multi-criteria evaluation of real-time key performance indicators of supply T chain with consideration of big data architecture // *Computers & Industrial Engineering*. 2019. Vol. 128. P. 1076–1087.

Dubey R., Gunasekaran A., Childe S.J. et al. Big data analytics and artificial intelligence pathway to operational performance under the effects of entrepreneurial orientation and environmental dynamism: A study of manufacturing organizations // *International Journal Production of Economics*. 2019a. P. 1–12.

Dubey R., Gunasekaran A., Childe S.J. et al. Big data analytics and organizational culture as complements to swift trust and collaborative performance in the humanitarian supply chain // *International Journal of Production Economics*. 2019b. Vol. 210. P. 120–136.

Dudek T., Dzhuguryan T., Lemke J. Sustainable production network design for city multi-floor manufacturing cluster // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 159. P. 2081–2090.

Filip F.G., Duta L. Decision Support Systems in Reverse Supply Chain Management // *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 22. P. 154–159.

Gil Press (2012). A very short history of big data. Available at: <<http://whatsthe-bigdata.com/2012/06/06/a-very-short-history-of-big-data/>> (accessed: 10.12.2019).

Gunasekaran A., Papadopoulos T., Dubey R. et al. Big data and predictive analytics for supply chain and organizational performance // *Journal of Business Research*. 2017. Vol. 70. P. 308–317.

Gupta S., Chen H., Hazen B.T., Kaur S. et al. (2019). Circular economy and big data analytics: A stakeholder perspective // *Technological Forecasting & Social Change*. 2019. Vol. 144. P. 466–474.

Hazen B.T., Boone C.A., Ezell J.D., Jones-Farmer L.A. Data quality for data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: An introduction to the problem and suggestions for research and application // *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 154. P. 72–80.

Hazen B.T., Skipper J.B., Ezell J.D., Boone C.A. Big data and predictive analytics for supply chain sustainability: A theory-driven research agenda // *Computers & Industrial Engineering*. 2016. Vol. 101. P. 592–598.

Hung J.L., He W., Shen J. Big data analytics for supply chain relationship in banking // *Industrial Marketing Management*. 2019. P. 1–10.

Kache F., Seuring S. Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management // *International Journal of Operations & Production Management*. 2017. Vol. 37. Iss. 1. P. 10–36.

Li B., Ch'ng E., Chong A.Y-L., Bao H. Predicting online e-marketplace sales performances: A big data approach // *Computers and Industrial Engineering*. 2016. Vol. 101. P. 565–571.

Li Q., Liu A. Big Data Driven Supply Chain Management // *Procedia CIRP*. 2019. Vol. 81. P. 1089–1094.

Long Q. A framework for data-driven computational experiments of inter-organizational collaborations in supply chain networks // *Information Sciences*. 2017. Vol. 399. P. 43–63.

Maghsoodi A.I., Kavian A., Khalilzadeh M., Brauers W.K.M. CLUS-MCDA: A novel framework based on cluster analysis and multiple criteria decision theory in a supplier selection problem // *Computers & Industrial Engineering*. 2018. Vol. 118. P. 409–422.

Markopoulos J. 5 ways the industrial internet will change manufacturing // *Forbes*. 2012. Available at: <<https://www.forbes.com/sites/ciocentral/2012/11/29/5-ways-the-industrial-internet-will-change-manufacturing/#72dff1764201>> (accessed: 10.12.2019)

McAfee A., Brynjolfsson E. Big Data: The Management Revolution // *Harvard Business Review*. 2012. Vol. 90. P. 60–68.

Nguyen T., Zhou L., Spiegler V. et al. Big data analytics in supply chain management: A state-of-the-art literature review // *Computers and Operations Research*. 2018. Vol. 98. P. 254–264.

Nimmagadda S., Reinert T., Wood L.C. On Modelling Big Data Guided Supply Chains in Knowledge-Base Geographic Information Systems // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 159. P. 1155–1164.

Rehman M.H., Chang V., Batool A., Wah T.Y. Big data reduction framework for value creation in sustainable enterprises // *International Journal of Information Management*. 2016. Vol. 36. P. 917–928.

Roßmann B., Canzaniello F., von der Gracht H., Hartmann E. The future and social impact of Big Data Analytics in Supply Chain Management: Results from a

Delphi study // Technological forecasting and social change. 2018. Vol. 130. P. 135–149.

Schoenherr T., Speier-Pero C. Data Science, Predictive Analytics, and Big Data in Supply Chain Management: Current State and Future Potential // Journal of Business Logistics. 2015. Vol. 36. Iss. 1. P. 120–132.

Shafiq A., Ahmed M.U., Mahmoodi F. Impact of supply chain analytics and customer pressure for ethical conduct on socially responsible practices and performance: An exploratory study // International Journal Production Economics. 2019. P. 1–12.

Singh A., Kumari S., Malekpoor H., Mishra N. Big data cloud computing framework for low carbon supplier selection in the beef supply chain // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 202. P. 139–149.

Singh A., Shukla N., Mishra N. Social media data analytics to improve supply chain management in food industries // Transportation Research Part E. 2018. Vol. 114. P. 398–415.

Singh S.K., El-Kassar A.N. Role of big data analytics in developing sustainable capabilities // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 213. P. 1264–1273.

The official website of Accenture. Data-Driven and Analytics-Powered: Digital supply chain is the new reality. 2016. Available at: <https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-26/accenture-digital-supply-chain-operations-analytics-pov.pdf> (accessed: 10.12.2019).

Venkatesh V.G., Kang K., Wang B. et al. System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability // Robotics and Computer Integrated Manufacturing. 2020. Vol. 63. P. 1–9.

Waller M.A., Fawcett S.E. Data Science, Predictive Analytics, and Big Data: A Revolution That Will Transform Supply Chain Design and Management // Journal of Business Logistics. 2013. Vol. 34 (2). P. 77–84.

Weihrach D., Schindler P.A., Sihn W. A conceptual model for developing a smart process control system // 11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME. 2018. Vol. 17. P. 386–391.

Witkowski K. Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management // Procedia Engineering. 2017. Vol. 182. P. 763–769.

Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M-J. Big Data in Smart Farming – A review // Agricultural Systems. 2017. Vol. 153. P. 69–80.

Wu K.J., Liao C.J., Tseng M.L. et al. Toward sustainability: using big data to explore the decisive attributes of supply chain risks and uncertainties // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. P. 663–676.

Xiang Z., Xu M. Dynamic cooperation strategies of the closed-loop supply chain involving the internet service platform // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 220. P. 1180–1193.

Yu L., Zhao Y., Tang L., Yang Z. Online big data-driven oil consumption forecasting with Google trends // *International Journal of Forecasting*. 2019. Vol. 35. P. 213–223.

Yu W., Chavez R., Jacobs M.A., Feng M. Data-driven supply chain capabilities and performance: A resource-based view // *Transportation Research Part E*. 2018. Vol. 114. P. 371–385.

Zhan Y., Tan K.H. An analytic infrastructure for harvesting big data to enhance supply chain performance // *European Journal of Operational Research*. 2020. Vol. 281. P. 559–574.

Zhong Newman, Huang Lan, Ray Y. Zhong et al. Big Data for supply chain management in the service and manufacturing sectors: Challenges, opportunities, and future perspectives // *Computers & Industrial Engineering*. 2016. Vol. 101. P. 572–591.

3.3. Проблемы и перспективы использования технологии блокчейн

Автором блокчейн-технологии и создателем криптовалюты биткоин принято считать Сатоши Накамото (псевдоним одного ученого или группы людей). В своем единственном труде «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System» [Nakamoto, 2008] он описал принципы работы криптовалюты биткоин: особенности проведения транзакций, применение цифровых подписей для обеспечения доверия между участниками, решение проблемы «двойного расходования», хеширование данных и присваивание им временных меток (time stamps), а также принцип защиты сетевых систем Proof of Work, который обеспечивает стабильность работы децентрализованных сетей, таких как блокчейн. В этой же работе описаны основные принципы функционирования блокчейн-сетей, однако это сделано в достаточно сжатой форме. Важно отметить тот факт, что криптовалюта биткоин, как и любая другая, работает только внутри блокчейн-сетей и не может существовать вне этих сетей из-за собственных особенностей функционирования.

Сегодня в мире распространено мнение, что блокчейн-сети предназначены, в большинстве случаев, для обеспечения функ-

ционирования различных криптовалют, но это заблуждение, которое обусловлено тем, что биткоин — первый финансовый инструмент инновационного характера, который был апробирован и сейчас функционирует внутри блокчейн-сети. Иными словами, первый опыт применения блокчейна и биткоина совпадают, именно поэтому многие связывают эти две технологии между собой и считают, что у блокчейна всего одно предназначение. На самом деле блокчейн — это прорывная технология, области применения которой достаточно широки: от умных контрактов в области страхования и медицины до обеспечения полной прозрачности цепей поставок и возможности отслеживания жизненного цикла продукта. Стоит отметить, что применимость блокчейн-технологии в бизнесе изучена слабо и наиболее успешные кейсы относятся к страховой и финансовой деятельности. Лучших практик использования блокчейн-технологии в УЦП на сегодняшний день не так уж и много: единицы компаний успешно применяют блокчейн в УЦП, и это достаточно крупные, транснациональные компании уровня IBM, Walmart, Amazon, Maersk, Intel, Provenance, Everledger и др.

Что же представляет собой эта технология? Блокчейн — это многофункциональная и многоуровневая информационная технология, предназначенная для надежного учета различных активов. Потенциально эта технология охватывает все без исключения сферы экономической деятельности и имеет множество областей применения. В их числе финансы, экономика, денежные расчеты, а также операции с материальными и нематериальными активами [Свон, 2017]. В этой работе представлена история развития блокчейн-технологии, ее техническая составляющая, принципы работы блокчейна, его возможности и перспективы. В пособии подробно описаны принципы работы умных контрактов и умных активов, представлены платформы и API-разработки блокчейна, децентрализованные приложения, распределенные организационные модели и многое другое. На сегодняшний день это одно из лучших пособий на русском языке, однако стоит отметить, что в данной работе представлены лишь общие ограничения технологии: технические сложности, государственное регулирование, восприятие обществом и проблемы конфиденциальности данных. К сожалению, описание данных ограничений лишь частично отображает сложность применения технологии в бизнесе, не говоря уже о конкретных сферах, таких как УЦП.

Как понять, применима ли технология в той или иной отрасли экономики? На самом деле есть два ключевых фактора, указывающих на то, что блокчейн может быть применим. Первый — это уровень доверия между участниками: если они не хотят прибегать к услугам третьей стороны, которая будет регулировать доверие и исполнение обязательств, то могут перейти на блокчейн, и их взаимоотношения будут регулироваться умным контрактом, а не посредником. Второй фактор более очевидный: так как блокчейн — это распределенный реестр данных, то у компании должна быть необходимость хранения и обработки этих данных. Если такой необходимости нет, то смысла в применении блокчейн-технологии тоже нет [Geravis, Wust, 2018]. В случае с УЦП такая необходимость, разумеется, присутствует.

Важной особенностью блокчейна является то, что подтверждение всех транзакций в сети осуществляется с помощью консенсуса, который представляет собой некое соглашение, позволяющее децентрализованной сети идентифицировать и подтверждать все транзакции и их значения. Это, в свою очередь, гарантирует, что сетевые узлы (участники сети) используют одни и те же данные и предотвращают манипулирование ими. Механизм консенсуса определяется следующими параметрами: целостностью, отказоустойчивостью, децентрализованным управлением и аутентификацией [Azzia et al., 2019]. Существует несколько алгоритмов консенсуса и наиболее популярные из них следующие: 1) Proof of Work (PoW); 2) Proof of Stake (PoS); 3) Proof of Elapsed Time (PoET); 3) Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT). В каждом из алгоритмов есть свои особенности, преимущества и недостатки, которые следует учитывать при применении технологии распределенного реестра в том или ином направлении бизнеса. Классическим вариантом блокчейна, как правило, является децентрализованная сеть, работающая на консенсусе PoW, например, блокчейн биткоина: узлы сети (майнеры) решают сложные вычислительные задачи, по выполнению которых результат публикуется и создается новый блок цепи. Майнер, решивший задачу самым первым, получает вознаграждение в криптовалюте. Примечательно, что главный недостаток этого алгоритма — энергозатратность и длительность выполнения транзакций [Морозова, 2018]. Вторым по популярности является алгоритм PoS, где ответственным за создание нового блока становится участник, который имеет наибольшее количество монет криптовалюты на счете. За создание

блока участник вознаграждение не получает, вознаграждение выплачивается за проведение транзакции. Алгоритм мотивирует к концентрации средств, что может приводить к централизации сети [Морозова, 2018]. В случае использования PoET, алгоритмом на каждом узле в блокчейн-сети случайным образом генерируется время ожидания каждого узла. Тот участник, который получил наименьшее время ожидания, становится узлом, генерирующим и подписывающим следующий блок информации. Если же говорить о PBFT-алгоритме, то главное его отличие в том, что подтверждение транзакции осуществляется 2/3 участников сети (против 51% в предыдущих алгоритмах). Такой консенсус призван решить так называемую проблему «византийских генералов»¹. Недостатками алгоритма являются высокие накладные расходы на взаимодействия узлов сети и уязвимость при построении небольших сетей [Там же]. В настоящее время уже существует достаточное количество блокчейн-платформ, применяющих различные алгоритмы консенсуса, например, Ethereum (работает на PoW) — первый блокчейн, смарт-контракты которого позволяют решать проблемы современного бизнеса. Следует отметить, что при построении собственной блокчейн-системы вопрос выбора алгоритма консенсуса стоит особенно остро, так как от этого решения зависит дальнейшая скорость работы (подтверждения транзакций), величина транзакционных и общих издержек, а также величина первоначальных инвестиций в разработку системы и ее дальнейшее обслуживание.

Выбор алгоритма консенсуса также определяется видом блокчейн-сети. Поскольку блокчейн — это инновационная технология, то в научном сообществе еще нет единой установленной классификации, но большинство исследователей и представителей бизнеса сходятся во мнении, что существует две широкие категории блокчейн-сетей: открытые (публичные) и закрытые (част-

¹ Проблема византийских генералов была придумана в 1982 году как логическая дилемма, которая иллюстрирует, как у группы византийских генералов могут возникать проблемы с коммуникацией, пытаясь согласиться на следующий шаг. Дилемма предполагает, что у каждого генерала есть своя армия, и каждая группа находится в разных местах вокруг города, намереваясь атаковать ее. Генералам нужно согласиться либо на атаку, либо на отступление. Не имеет значения, нападают они или отступают, пока все генералы достигают консенсуса, т.е. принимают общее решение, чтобы согласованно его выполнить.

ные). Из названия понятно, что в публичных блокчейнах любой участник может получить доступ к информации в любое время и принять участие в проведении транзакции, в то время как в закрытых только определенные участники наделены таким правом. Однако разделяют еще такие виды блокчейнов, как «гибридные» и «консортиум» [Hewett et al., 2019]. Гибридный блокчейн представляет собой сочетание закрытого (возможность ограничения информации) и открытого (обеспечение высокого уровня прозрачности) блокчейнов. Это достаточно удобно, так как участники могут использовать разрешенные сети, в которых ограничен доступ лишь к некоторой части данных. Более того, гибридные блокчейны могут взаимодействовать с любыми публичными, если в этом есть необходимость. Консортиум — это когда процесс консенсуса контролируется определенным количеством участников, например, 10-ю и 15-ю узлами сети. Для того чтобы в сети произошла транзакция, ее должны подписать все участники, наделенные таким правом. Из всех трудов, посвященных исследованию возможностей, преимуществ и ограничений различных блокчейн-систем, хотелось бы выделить сборник, состоящий из трех частей [Hewett et al., 2019; Jensen, Hewett, 2019; Habebeck et al., 2019], представленный на Всемирном экономическом форуме в 2019 году. Авторы подавляющую часть своих трудов уделили решению вопроса выбора вида блокчейн-сети для УЦП, указав, какими критериями следует руководствоваться при этом выборе различным компаниям. Также в работе исследованы перспективы блокчейн-технологии в УЦП, представлены и подробно изучены области применения этой технологии, ее возможности, ограничения и технические особенности. Помимо уже привычных преимуществ, таких как прозрачность и прослеживаемость, авторы отмечают возможность антикоррупционной и торговой функции блокчейна. Более того, в статье [Habebeck et al., 2019] отмечается, что на сегодняшний день порядка 53% кейсов по применению блокчейн-технологии в бизнесе приходится именно на УЦП.

В условиях развития интернет-технологий и глобальной цифровизации, принципы работы блокчейн-технологии все больше привлекают внимание современного бизнеса, так как эта инновация открывает новые горизонты для автоматизации процессов, повышения уровня прослеживаемости цепей поставок, а также обеспечения полной прозрачности всех транзакций сети. В статье [Casey, Wong, 2017] авторы отмечают следующие принципы рабо-

ты блокчейна: 1) децентрализация (распределенная база данных); 2) прозрачность всех транзакций; 3) P2P-взаимодействие участников сети; 4) неизменяемость записей; 5) компьютерная логика (умные контракты и алгоритмы консенсуса). Знание этих принципов не говорит напрямую о том, как их успешно применить в управлении цепями поставок, однако служит индикатором для определенных улучшений в управленческих процессах. Например, децентрализация подразумевает, что каждый участник системы имеет равный доступ к так называемой локальной копии сети, в которой он может увидеть полную историю всех транзакций, что упрощает доступ к любым данным и делает систему прозрачной. Другой момент — это компьютерная логика: взаимодействие участников блокчейна строится на умных контрактах, что обеспечивает «автоматическое» доверие между ними, ведь по своей сути умный контракт — это компьютерный код, написанный участниками для осуществления различных взаимодействий. В рамках смарт-контрактов могут взаимодействовать как контрагенты, так и устройства, обменивающиеся данными, он может быть заключен как для проведения транзакции или оказания услуги, так и для получения товара или его продажи [Морозова, 2018]. Сегодня можно с уверенностью сказать, что потенциал умных контрактов огромен: они используются в сделках при купле-продаже недвижимости, применяются в продвинутых страховых компаниях для автоматической фиксации страховых случаев и используются в сфере здравоохранения в некоторых странах Запада.

Однако области применения умных контрактов в УЦП нуждаются в глубоком исследовании: на данный момент мы можем наблюдать относительно небольшое количество лучших практик использования блокчейн-технологии в УЦП с акцентом на разработку умных контрактов сложного функционала. Сегодня существуют различные платформы (Ethereum, Hyperlader) для бизнеса, предлагающие свои умные контракты и блокчейн-решения, но количество лучших практик в области применения блокчейн-технологии в УЦП за последние несколько лет выросло несущественно. Первым был IBM-Maersk, где блокчейн используется для автоматизации документооборота на контейнерных перевозках, хотя это не основное его назначение в данном проекте [Hackius, Petersen, 2017]. Разумеется, автоматизация достигнута за счет разработки определенных умных контрактов, которые позволяют существенно сократить количество действий и полностью убрать

человеческий фактор при заполнении и обработке документов. Исследование возможностей умных контрактов особенно актуально в связи с глобальной цифровизацией экономики и других отраслей и переходом от стандартных бумажных договоров к цифровым, умным контрактам.

В работе [Ream et al., 2016] авторы раскрывают потенциал умных контрактов и отмечают их преимущества перед классическими договорами: 1) скорость и обновление в режиме реального времени; 2) точность; 3) пониженный риск неисполнения обязательств; 4) меньшее количество посредников; 5) низкие транзакционные издержки. В данной статье также представлены наиболее популярные области использования умных контрактов: финансовый сектор, сфера здравоохранения, технологии и СМИ, энергетическая промышленность и межотраслевые области, в которую авторы включили управление цепями поставок. Примечательно, что для каждой отрасли авторы дают по несколько примеров применения блокчейн-технологии, но в случае с УЦП такой пример всего один — автоматизация платежей, а также части документооборота, в частности, валидации новых коносаментов и проведения платежей за транспортировку и операции грузопереработки новым контрагентам. Такой способ использования умных контрактов в УЦП, безусловно, может даровать большие преимущества компании и решить ее проблемы, связанные с документооборотом и проведением платежей, а также позволит сэкономить на транзакционных издержках путем снижения количества посредников. Несмотря на это, потенциал умных контрактов в УЦП не ограничивается только таким применением, ведь как уже отмечалось ранее, умный контракт — это программный код, который, по своей сути, может быть ограничен только техническими возможностями участников контракта, особенностями конкретной блокчейн-системы и уровнем квалификации программистов, которые пишут этот код.

Многие специалисты считают, что Blockchain — самая большая инновация, которую мы наблюдаем сегодня, сравнимая с Интернетом или повсеместной компьютеризацией (цифровизацией) экономики. В технологическом плане (на вычислительном уровне) блокчейн, т.е. цепочка «блоков», является децентрализованным реестром всех транзакций в компьютерной сети [Сергеев, Кокурин, 2018]. При этом каждый блок информации содержит информацию о предыдущем блоке и ссылается на него, применя-

ется шифрование (например, алгоритм SHA-256), что затрудняет доступ к информации третьим лицам. Другая важная особенность технологии — это неизменяемость данных, которая означает, что каждая транзакция фиксируется в системе и не может быть изменена из-за того, что связана с предыдущей. Чем сложнее и длиннее такая цепь блоков, тем выше уровень доверия [Treiblmaier, 2018]. Неизменяемость данных исключает риски возможного мошенничества и фальсификации информации в пользу конкретного лица, что несомненно повышает прозрачность и устойчивость цепи поставок.

С позиций УЦП блокчейн позволяет решить одну из самых сложных проблем в осуществлении межорганизационной координации: как обеспечить безопасность (прозрачность) прохождения информации и доверие контрагентов цепи поставок [Сергеев, Кокурин, 2018]. В любой цепи поставок ежедневно происходит определенное количество взаимодействий контрагентов, связанных с получением и передачей товаров и информации при управлении материальными и финансовыми потоками: транспортировка, складирование и грузопереработка, таможенное оформление, банковские операции, платежи и т.п., что требует многоступенчатого контроля (налогового, финансового, таможенного и т.д.) для обеспечения точности и достоверности передаваемой информации, а также соответствия товаров и услуг стандартам качества и условиям контрактов. Технология блокчейн решает эту проблему тремя способами: во-первых, у всех участников цепи поставок есть доступ к локальной копии всей сети, которая обновляется в режиме реального времени; во-вторых, неизменяемость данных может гарантировать отсутствие контрафакта, а значит, существенно повышает качество продукции; в-третьих, применение умных контрактов может значительно упростить и автоматизировать процесс контроля всех взаимодействий контрагентов на всех уровнях.

Как считают ведущие аналитические компании, блокчейн глобально изменит десятки отраслей — от финансов до кибербезопасности, а многие технологии будут заново изобретены. Принцип децентрализованного распределенного хранения и передачи данных с историей транзакций, которую невозможно изменить или уничтожить, обещает глобально преобразовать бизнес, выведя его на новую ступень. В течение 2016–2018 годов наблюдался сначала резкий взлет, а затем заметное падение популярности технологии распределенного реестра. Блокчейн в 2017 году — один из наиболее

упоминаемых и востребованных терминов. Фактически это «год блокчейна» — осуществлено множество экспериментов и пилотных проектов (в том числе в логистике) [Ермаков, 2017]. Потенциальные возможности блокчейна вызвали эйфорию: блокчейном в период роста популярности занимаются все компании. Это приводит к спекулятивным эффектам, например, в 2017 году добавление слова «блокчейн» в название компании заметно повышало ее стоимость, а упоминание любого опыта работы с блокчейном в резюме соискателей автоматически приводило к увеличению размера запрашиваемого уровня компенсации [Ермаков, Кузьминых, 2019]. Такая негласная ценность блокчейна обусловлена тем, что в период 2016—2018 годов Интернет был буквально завален статьями и заметками о том, какие перспективы имеет эта технология и какие проблемы она призвана решать. Данный временной промежуток можно считать пиком популярности технологии, именно в эти два года появилось наибольшее количество трудов, направленных на исследование применимости блокчейн-технологии в управлении цепями поставок. Многие консалтинговые компании, такие как PwC и Deloitte, выпустили аналитические отчеты, в которых раскрыли некоторые области применения блокчейн-технологии в логистике и управлении цепями поставок, а также показали преимущества технологии, чем сильно привлекли внимание бизнеса.

На 2016 год также пришлось и начало бурного роста активности в сфере защиты интеллектуальной собственности, связанной с блокчейном. Лидеры по количеству заявок — США (в том числе по территориальному охвату — заявки поданы в 24 странах) и Китай (заявками охвачено всего 6 стран). В 2017 году во Всемирную организацию интеллектуальной собственности (WIPO) подано 406 заявок, связанных с технологией блокчейн, что примерно в 3 раза больше, чем в 2016 году, причем 225 из них поступило из Китая (против 59 в 2016 году). В 2018 году эйфория на рынке пропадает и сменяется более взвешенным и осторожным подходом. Например, популярность запросов, связанных с блокчейном, упала в 3–4 раза, а связанных с криптовалютой, — в 8–10 раз и более в течение 2018 года. Капитализация рынка криптовалют уменьшилась в 6 раз (с 800 млрд долл. США в начале 2018 года до 130 млрд долл. США в начале 2019 года) и лишь в течение февраля-апреля 2019 года наблюдался небольшой подъем рынка [Coin Market Cap, 2018/2019]. В 2019 году популярность блокчейна и криптовалют была на пике в июне-июле, когда цена биткоина достигла отметки

в 13 тыс. долл., после чего весь год внимание к этой технологии постепенно снижалось: поисковые запросы сократились примерно в 3 раза, а большинство перспективных стартапов так и не были запущены, так как не нашли должного финансирования, хотя есть ряд успешных проектов, которые функционируют и сегодня.

Как уже отмечалось ранее, применение технологии блокчейн в УЦП, как правило, направлено на достижение высокого уровня прозрачности и прослеживаемости цепей поставок. Это обусловлено как особенностью технологии, так и актуальностью проблемы низкого уровня прозрачности цепей поставок производственных компаний, в частности, если речь идет о фармацевтической продукции, продуктах питания, брендовой одежде и драгоценных украшениях. На сегодняшний день в мире ежедневно производятся миллиарды продуктов, которые движутся через сложные, глобальные цепи поставок. Однако участники цепей поставок располагают малым количеством знаний о том, как, когда и где эти продукты были созданы и использованы на своем пути жизненного цикла [Abeuratne, Monfared, 2016].

Сегодня цепи поставок становятся все более сложными и более масштабными, что несомненно снижает уровень их прозрачности. Продукт до достижения конечного потребителя проходит через десятки различных участников цепей поставок и его характеристики могут меняться. В частности, здесь стоит выделить проблему контрафакта. В работе [Ibid.] авторами предложена блокчейн-модель УЦП для различных производственных компаний. Приведено достаточно подробное описание всех участников и их функций, а также всевозможные виды данных, которые следует собирать и вносить в блокчейн: от характеристик сырья до свойств готовой продукции. В предложенной модели подразумевается, что все данные о продукте вносятся в систему на протяжении всего его жизненного цикла, что позволяет потребителям быть уверенными в качестве покупаемой продукции и месте ее происхождения.

Модель, представленная в работе [Ibid.], является концептуальной и отображает организационные изменения в цепях поставок при переходе на блокчейн, а также содержит детальное описание всех видов данных, которые должны быть отображены в системе. В статье [Касаев, Корниенко, 2017] авторами предложен перевод данной модели на русский язык с некоторыми уточнениями. При переходе на блокчейн в цепи поставок появляются новые

участники процесса — регистраторы (обеспечивают уникальную идентификацию участников в блокчейн-сети) и сертифициаторы (разрабатывают блокчейн-стандарты, умные контракты и проводят сертификацию участников цепи поставок). Однако не совсем понятно, откуда брать этих участников: привлекать компании, которые специализируются на блокчейне, или же участники цепи поставок должны создать собственное подразделение или компанию, которая будет заниматься вышеописанными задачами. Решение задачи «делать или покупать» в данном случае стоит особенно остро, так как, например, на российском рынке почти нет компаний, которые занимаются разработкой блокчейн-сетей для бизнеса и уникальных коммерческих решений на рынке тоже не наблюдается. Примечательно, что в статье [Casado-Varaa et al., 2018] авторы также указывают на то, что в предложенной ими концептуальной модели блокчейн-цепи поставок должен появиться новый участник — блокчейн-агент, который будет регистрировать участников в сети блокчейн и отвечать за обслуживание и модификацию сети с течением времени. В еще одном исследовании, направленном на разработку блокчейн-модели цепи поставок [Tonissen, Teuteberg, 2019] также можно наблюдать новых участников цепи поставок: блокчейн-операторов и внешних аудиторов, которые привлекаются для проверки соответствия сети принципам блокчейна. Не вызывает никаких сомнений тот факт, что таким участником может быть только специализированная компания, в штате которой присутствуют высококвалифицированные блокчейн-специалисты.

Если говорить о концептуальных моделях, то в работе [Гуменюк, Гуменюк, 2019] авторами предложен «концептуальный механизм управления цепями поставок на основе применения технологии блокчейн», который отражает принципиальные отличия от классического УЦП, что в корне меняет представление об управлении информацией, функциях участников цепи поставок, бизнес-процессах, автоматизации различных операций и т.д. При реализации управления цепями поставок на базе технологии блокчейн обеспечивается децентрализация доверия, позволяющая осуществлять передачу ценностей и активов без посредников [Там же]. Более того, переход от классической цепи поставок к цифровой, открывает широкие возможности для информационной интеграции, ведь при внедрении блокчейна, традиционный EDI (электронный обмен данными) выходит на новый уровень,

так как обработка документов проводится существенно быстрее, уровень доступности информации участников цепи поставок растет, а, например, временные затраты на проверку налоговой инспекцией или любым другим контролирующим государственным органом существенно снижаются. Но главное ли это преимущество, которое подразумевают собой цифровые цепи поставок?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, необходимо рассмотреть статьи и исследования, посвященные цифровым цепям поставок, их особенностям и ограничениям. Как уже неоднократно отмечалось, применение блокчейн-технологии в УЦП — это не просто использование технологии для решения определенных задач, а целая трансформация цепи поставок, которая подразумевает полную оцифровку всех материальных и нематериальных активов компании. В противном случае не будут работать смарт-контракты, ведь они могут взаимодействовать только с тем, что зарегистрировано и идентифицировано в блокчейне в цифровом виде. В современной литературе можно встретить различные определения «цифровой цепи поставок»:

- По данным Capgemini Consulting [Raab, Griffin-Cryan, 2011], традиционные цепи поставок представляют собой сочетание «электронных процессов» и «бумажной документации». В силу того, что организационные структуры многих компаний представлены таким образом, что участники нередко не хотят делиться всей информацией открыто, это приводит к информационной асимметрии и потере производительности. Цифровая цепь поставок, в свою очередь, дает возможность широкого распространения информации, а также способствует повышению уровня качества коммуникации между участниками, что приводит к повышению надежности, гибкости и эффективности цепи поставок.
- В труде [Bhargava, Ranchal, 2013] авторы указывают, что цифровая цепь поставок состоит из систем (например, программное обеспечение, аппаратные средства, коммуникационные сети), поддерживающих взаимодействие между глобально распределенными организациями и координирующими деятельность контрагентами в цепи поставок, которая включает покупку сырья, изготовление продукции, ее хранение, транспортировку и продажу конечному потребителю.
- В консалтинговой компании Accenture [Raj, Sharma, 2014] полагают, что цифровизация имеет потенциал преобразова-

ния цепей поставок путем повышения качества услуг и продукции (их ценности для потребителя) и установления доступных цен на рынке. В компании отмечают, что цифровые цепи поставок объединяют не только физические потоки товаров и услуг, а также сопутствующие им — информационные и финансовые.

- Согласно Киннету [Kinnet, 2016], цифровые цепи поставок представляют собой умные, управляющие стоимостью сети, которые используют инновационные подходы и технологии с целью создания новых форм дохода и повышения стоимости бизнеса в целом.

- В аналитическом отчете, подготовленном консалтинговой компанией А.Т. Kearney [Schmidt et al., 2015], цифровые цепи поставок определяются как «наиболее эффективные технологии, поддерживающие и синхронизирующие цепи поставок, включая складские и транспортные системы, радиочастотную идентификацию (RFID), новые виды комплектации товара, а также инновационные системы планирования для проактивного реагирования на возникающие проблемы».

На сегодняшний день в бизнесе распространено мнение, что большинство успешных компаний мирового масштаба обладают передовым опытом в области УЦП, а некоторые даже утверждают, что настоящая конкуренция между компаниями — это конкуренция цепей поставок. Например, две крупнейшие сети супермаркетов в Австралии (Woolworths and Coles), с точки зрения высокой гибкости и уровня предоставляемого сервиса, в действительности конкурируют глобальными цепями поставок. Еще один пример — это цепь поставок iPad: его полупроводники производятся в трех странах, сборка осуществляется еще в одной стране, мониторы также поставляются из нескольких стран, в то время, как дизайн и брендинг делаются в США [Xu, 2104]. Сегодня цепи поставок становятся все сложнее и трансформируются в цифровые под влиянием прогресса, развития Интернета и сегмента устройств интернета вещей, перехода от традиционных договоров к умным контрактам и проч. Но какими преимуществами обладают цифровые цепи поставок перед традиционными? В работе [Azzia et al., 2019] авторы выделяют следующие сильные стороны:

- 1) скорость (например, Amazon доставляет товары беспилотниками за 30 минут);

2) гибкость (возможность быстрой реакции и адаптации к различным изменениям, например, военным конфликтам, эпидемиям болезней, стихийным бедствиям);

3) укрепление глобальных связей (создание эффективных глобальных цепей поставок);

4) инвентаризация в режиме реального времени;

5) интеллектуальность (возможность использовать ИИ и нейросети);

6) прозрачность и масштабируемость;

7) инновационный характер;

8) проактивность (возможность быстрой реакции на изменения спроса);

Несмотря на огромное количество преимуществ, переход от традиционной цепи поставок к цифровой представляет собой достаточно сложный и продолжительный процесс, так как подразумевает переход от одного подхода работы с информацией к другому, что сопровождается различными барьерами и сложностями. Большинство авторов трудов сходятся в своих мнениях и чаще всего называют следующие сложности перехода на цифровую цепь поставок:

- Отсутствие должного уровня планирования [Xu, 2014; Azzia et al., 2019].

- Низкий уровень сотрудничества контрагентов [Azzia et al., 2019].

- Ошибки в прогнозировании спроса [Parter et al., 2009; Xu, 2014].

- Недостаток обмена информацией [Xu, 2014].

- Недостаток знаний в области УЦП и цифровых технологий [Hines, 2004; Xu, 2014].

- Низкий уровень гибкости и надежности цепей поставок [Azzia et al., 2019].

- Высокая волатильность рынка [Xu, 2014; Richey et al., 2017].

- Излишнее доверие к поставщикам [Hines, 2004; Xu, 2014].

- Разный взгляд контрагентов на цифровую интеграцию [Ibid.].

Другой стороной перехода от традиционной цепи поставок к цифровой являются высокие инвестиции в инфраструктуру: закупка всевозможных датчиков (влаги, температуры, плотности и проч.), RFID-меток, QR-кодов, NFC-чипов, сетевого и периферийного оборудования, устройств интернета вещей и программ-

ного обеспечения. Важно понимать, что переход на цифровую цепь поставок и применение блокчейн-технологии не являются тождественными вещами, но одно включает другое, ведь, как уже неоднократно отмечалось ранее, успешное использование блокчейна возможно только при полной цифровизации, достижение которой достигается посредством устройств интернета вещей и специальных датчиков различного функционала. В работе [Hackius, Petersen, 2017] отмечается возможность использования блокчейн-технологии для управления и защиты устройств интернета вещей, которые, как известно, являются достаточно уязвимыми, если не защищены шифрованием и представляют собой потенциальную угрозу, так как могут быть взломаны третьими лицами. Это самое настоящее слабое место в кибербезопасности не просто отдельной взятой компании, а всей цепи поставок. Регистрация устройств интернета вещей в блокчейне позволит оградить их от взлома и позволит эффективно управлять ими посредством умных контрактов. Это подтверждается исследованием [Dorri et al., 2017], где доказано, что регистрация устройств интернета вещей в блокчейне ограждает их от таких киберугроз, как DDoS- и MitM-атаки, что особенно актуально в эпоху расцвета хакерства и интернет-мошенничества. На сегодняшний день многие компании сталкиваются с такой проблемой, как DDoS-атаки, так как на рынке присутствует возможность заказа данной «услуги», чем и пользуются нечистые на руку конкуренты.

В работе [Reyna et al., 2018] авторы указывают на то, что помимо внушительных инвестиций в инфраструктуру, само использование устройств интернета вещей подразумевает собой следующие сложности: 1) большие массивы данных, занимающие много дискового пространства; 2) сохранность конфиденциальности данных; 3) риск атак DDoS, MitM, Race, Sybil; 4) правильность настройки умных контрактов; 5) законодательные ограничения. Все эти проблемы и призван решать блокчейн, именно поэтому большинство свежих исследований посвящено сочетанию блокчейн-технологии и устройств интернета вещей. Например, в работе [Rozman et al., 2019] предлагается модель распределенного реестра данных, работающего в связке с различными датчиками, умными устройствами и прочими средствами, которые обеспечивают отслеживание всех процессов в системе. Авторы указывают, что для построения такой модели крайне важно определиться с изначальным количеством узлов и их функционалом, а также воз-

возможностями API-приложений, которые будут применяться при построении этой модели.

В работе [Badzar, 2016] основной фокус направлен на проблему низкого уровня прозрачности цепей поставок и ее решение посредством внедрения блокчейн-технологии. Ограничения, связанные с доступностью информации, могут быть преодолены посредством увеличения уровня прозрачности транзакций. Зачастую, знания о продуктах и услугах распространяются между участниками сделок непропорционально или же доступ к ним может полностью отсутствовать [Ibid.]. Противодействовать этим информационным асимметриям и увеличивать обмен информацией между участниками предлагается за счет достижения высокого уровня прозрачности транзакций, который, в свою очередь, обеспечивается переходом цепи поставок на блокчейн-технологии и последующей информационной интеграцией всех участников цепи поставок. Стоит отметить, что авторы акцентируют внимание на двух ключевых особенностях работы блокчейн-сети: криптография с закрытыми и открытыми ключами и принцип защиты сетевых систем от злоупотребления услугами именуемый Proof of Work, упомянутый ранее. Эти две особенности представляют собой гарантию устойчивой и бесперебойной работы сети и защищенность данных в цепи поставок от третьих лиц. Также автор отмечает один из наиболее успешных кейсов применения технологии промышленной компанией Provenance, которая использует блокчейн для отслеживания жизненного цикла продукции (тунца) во избежание обвинений в браконьерстве со стороны конкурентов или государства. На сегодняшний день это один из лучших примеров успешного применения технологии в УЦП, и многие авторы ссылаются на него в своих работах. Но есть ли другие примеры?

Если говорить о международной практике, то другим ярким примером является компания Everladger, которая использует блокчейн для борьбы с подделкой предметов роскоши, в частности, алмазов [Forklog, 2015]. Данная компания заносит более 40 различных характеристик каждого алмаза в блокчейн для создания специального цифрового отпечатка продукта в системе. Такая мера вызвана желанием компании отсечь возможность приобретения так называемых кровавых алмазов, которые добываются в Африке путем ограблений соответствующих компаний, добывающих ценные металлы и камни.

Что касается других примеров применения блокчейн-технологии в УЦП, в статье [Корниенко, 2018] собраны самые известные лучшие практики современных компаний в этом направлении:

1. IBM и Maersk используют блокчейн в контейнерных перевозках для информационной интеграции с таможенными службами, для обеспечения отслеживания показателей внутри контейнеров (температуры и влажности) и для автоматизации документооборота.

2. Walmart используют технологию для определения источника происхождения свинины в Китае, а также при доставке продукции беспилотниками.

3. EverLadger применяет блокчейн для идентификации алмазов и для борьбы с подделкой ювелирных изделий.

4. Assetcha.in используют технологию для учета и хранения ценных вещей и еще несколько примеров.

5. Yojee применяют блокчейн в сочетании с искусственным интеллектом для отслеживания заказов в режиме реального времени, формировании счетов и управлении задачами.

Представленные выше примеры встречаются в большинстве работ, посвященных исследованию применимости блокчейн-технологии в УЦП и на данный момент, являются лучшими мировыми практиками. Примечательно, что за последние три года, количество лучших практик почти не изменилось, хотя это никак не отражает динамику применения технологии в сфере логистики и УЦП, так как далеко не все компании сообщают о своих разработках и грядущих блокчейн-проектах с целью сохранения конкурентного преимущества на рынке, ведь в случае успеха компания сможет значительно оптимизировать свою деятельность и сократить различного рода затраты.

Еще один, менее известный, пример — сервис Ripe.io — это один из ярких примеров компании, которая смогла применить блокчейн-технологии в УЦП. Система регистрирует спелость, влажность и температуру продуктов. Фермер может следить за тем, что происходит с его продуктом в пути, корректировать систему сбора и доставки, опираясь на полученные данные, и главное — всегда знать, в каком состоянии получил продукты его клиент [Панюкова, 2018]. Более известный пример — это IMMILA — международное логистическое приложение, которое обеспечивает взаимодействие владельцев груза и перевозчиков на всех этапах

процесса перевозки груза на основе Ethereum и смарт-контрактов. Данное приложение является отечественным и направлено на организацию мультимодальных перевозок с заключением смарт-контрактов, поиск вариантов перевозок, соответствующих требуемым цене, времени, качеству.

Как уже отмечалось ранее, IBM-Maersk представляет собой первое блокчейн-решение, которое было применено к УЦП. С тех пор IBM разработала решение IBM Food Trust, призванное объединить фермеров, перерабатывающие предприятия, оптовые и розничные компании, дистрибьюторов, производителей и других участников с целью улучшения прозрачности и мониторинга всей цепочки поставок продуктов питания. В ее основе лежит блокчейн-платформа Hyperledger Fabric, которая является совместной разработкой Linux и IBM [Оборевич, Молдован, 2019]. Как известно, данная система была доработана и запущена еще осенью 2016 года, однако первые испытания начались только в декабре 2016-го компанией, которая начала функционировать на IBM Blockchain (американская корпорация Walmart). Блокчейн-платформа проходила испытание в течение 18 месяцев среди розничных торговцев, поставщиков и производителей пищевой промышленности, прежде чем выйти на мировой рынок. На сегодняшний день IBM Food Trust используют такие продовольственные гиганты, как Walmart, Nestle, Unilever, Dole Food, Tyson Foods, Kroger более чем в 40 странах мира. Более того, к 2022 году планируется расширить использование платформы по всему миру [IBM, 2019].

В настоящее время на рынке существует достаточное количество блокчейн-платформ, предлагающих решения для современного бизнеса: Ethereum, Hyperledger Sawtooth, Hyperledger Fabric, Stellar, IBM и др., однако количество лучших практик не спешит расти. В силу своей дороговизны и необходимости больших инвестиций применяют блокчейн-технологии в УЦП, как правило, крупные международные компании с миллиардными оборотами и острой необходимостью сократить транзакционные издержки, автоматизировать процессы обработки, хранения и аналитики данных, повысить качество выпускаемой продукции, лояльность потребителей и т.д.

Если же говорить о таких проектах на территории СНГ, то пионером является компания A2B Direct, стартап-сервис обеспечивает прямую связь между владельцами грузов и транспортными экспе-

дителями [Forklog, 2017]. Компания работает на рынках Восточной Европы, Украины, Беларуси, Российской Федерации, Прибалтики, Судана и в некоторых странах Азии. На сегодняшний день это один из самых успешных и востребованных блокчейн-сервис в области логистики и УЦП, работающий на территории России. Хотя есть и отечественные блокчейн-решения, которые тоже заслуживают внимания. Например, Shipit.to — разработка Сколковского института науки и технологий, которая предназначена для отслеживания местоположения и состояния груза в реальном времени [Морозова, 2018]. Другой пример отечественного блокчейн-проекта в области УЦП — это разработка «Газпромнефть-Аэро» и S7Airlines «Aviation fuel smart contracts», умные контракты, созданные для организации взаиморасчетов при заправке самолетов и автоматизация планирования учета поставок топлива [Газпром, 2019].

Обращаясь к опыту отечественных компаний, следует заметить, что в декабре 2017 года стало известно, что одна из крупнейших отечественных логистических компаний, «РЖД», начала использовать блокчейн в грузоперевозках. Совместно с компанией «ИНТЭЛЛЕКС» они запустили в промышленную эксплуатацию электронную торговую площадку «Грузовые перевозки» [BitsMedia, 2017]. Позже, в июне 2018 года, сообщалось, что РЖД планирует ввести смарт-контракты для ведения договоров. Основная идея этих начинаний заключалась в том, чтобы создать платформу, позволяющую напрямую покупать билеты на железнодорожный транспорт за криптовалюту, так как цифровые деньги не являются полноценным платежным средством в нашей стране [BitsMedia, 2018]. К слову, подобный сервис уже существует в Европе под названием Destinia [Destinia, 2019].

В марте 2019 года информационное интернет-агентство BitsMedia сообщило, что РЖД планирует вложить 40 млн руб. в блокчейн-проект грузоперевозок [BitsMedia, 2019]. Согласно требованиям РЖД, платформа должна быть реализована на базе блокчейна с использованием отечественных решений или продуктов с открытым кодом до 2 декабря 2019 года. На данный момент достоверно неизвестно, был ли проект успешно реализован, проводились ли тестовые испытания и когда ожидать полноценный релиз данной платформы.

Несмотря на то что крупные отечественные компании уже приняли во внимание блокчейн-технологии и ее возможности, количество успешных проектов существенно ниже, чем в странах

Европы, в США и Великобритании. Примечательно, что на отечественном рынке пионерами применения блокчейн-технологии в УЦП являются крупные государственные компании («РЖД», «Газпром»), хотя технология может использоваться как в малом, так и в среднем бизнесе, если он нуждается, как минимум, в надежном хранении и обработке данных, а также их защите от третьих лиц. Области применения технологии в УЦП должны быть тщательно исследованы, так как это позволит полностью раскрыть потенциал блокчейна и открыть новые возможности для ведения прозрачного и эффективного бизнеса в целом. В эпоху глобальной цифровизации это представляется чрезвычайно актуальной задачей.

Возвращаясь к работам, посвященным применению блокчейн-технологии в УЦП, стоит отметить исследование [Jansson, Petersen, 2017], авторы которого изучают точки соприкосновения блокчейн-технологии и прослеживаемости цепей поставок, отмечая, что этот вопрос еще мало изучен, а примеров успешного использования технологии на практике недостаточно. В работе собраны всевозможные определения прослеживаемости, блокчейна, основные концепции прослеживаемости, ключевые принципы работы прослеживаемых систем, а также драйверы прослеживаемости, характеристики блокчейн-технологии и ее ограничения. Авторами разработан метод оценки применимости блокчейн-технологии с целью повышения уровня прослеживаемости в цепях поставок. Данный метод разработан посредством (а) анализа литературных источников, (б) интервью со специалистами в области IT-технологий и финансов с целью корректировки метода, (в) интервью с представителями бизнеса для проверки метода.

В силу нехватки эмпирических данных по применению блокчейн-технологии в УЦП, а также из-за небольшого количества лучших практик в большинстве работ, в которых разрабатывается метод перехода цепи поставок от традиционного варианта к блокчейну, авторами используются такие методы анализа литературных источников и проведение анкетирования различных представителей бизнеса для выявления их оценок технологии, ее применимости, перспектив и ограничений. Одной из таких работ является исследование [Korpela et al., 2017], где авторами проведено масштабное изучение и опрос 31 менеджера из различных сфер бизнеса. Респондентам было предложено сгенерировать идеи применения блокчейн-технологии в управлении цепями поставок и в

результате было получено порядка 85 идей, большая часть которых связана с умными контрактами и распределенным реестром данных. Такого рода исследования помогают лучше понять то, как воспринимается технология представителями бизнеса и какие они видят в ней перспективы. Слабым местом такого подхода является несколько поверхностный способ оценки информации, ведь мнения представителей разных компаний могут различаться, и для того чтобы проверить их предположения, придется прибегнуть, как минимум, к методам имитационного моделирования, чтобы иметь возможность хотя бы примерно оценить их суждения и предложения в отношении этой технологии в УЦП.

Другое исследование, где авторами проведен масштабный опрос представителей бизнеса и экспертов в области управления цепями поставок, — это статья [Wanga et al., 2019]. В результате проведенного опроса авторами выявлены различные области применения блокчейн-технологии в логистике и УЦП.

Еще одна работа, в которой предложена блокчейн-модель управления цепями поставок [Petersen, 2017], где автор разрабатывает концептуальную блокчейн-модель для производителя оливкового масла «Extra Virgin» и описывает механизмы работы умных контрактов и всевозможные изменения в бизнес-процессах исследуемой компании. В работе также приводится принцип «никто не доверяет никому», согласно которому, доверие между участниками блокчейна является автоматическим и обеспечивается умными контрактами, которые могут быть разработаны участниками совместно, как уже отмечалось ранее. Стоит отметить, что данная модель отличается от большинства предложенных, так как подразумевает проигрывание различных сценариев с различными исходными данными. Такой подход к исследованию технологии выглядит более убедительным и приближенным к реальности.

Применение блокчейн-технологии в УЦП открывает широкие горизонты для бизнеса и призвано решать не только проблемы прозрачности и прослеживаемости цепей поставок. В работе [Nackius, Petersen, 2017], помимо защиты от контрафакта и возможности отслеживания жизненного цикла продукта, также отмечается возможность упрощения и автоматизации документооборота, что особенно актуально для контейнерных перевозок, где груз на своем пути следования может проходить более чем через 30 участников цепи. Интеграция блокчейна в судоходство и перевозки морским

транспортом позволит повысить устойчивость цепей поставок, сократить случаи мошенничества, задержки с оформлением документов и количество отходов, а также быстрее выявлять проблемы. Соответственно, это может увеличить мировой ВВП почти на 5%, а общий объем торговли — на 15% [Issaouia et al., 2019].

Возвращаясь к защите от контрафакта, стоит отметить фармацевтические компании, которые несут огромные репутационные риски из-за существования черного рынка поддельных лекарств. Блокчейн с легкостью решает эту проблему: когда фармацевтическая компания произведет лекарство, будет создан уникальный хеш, который присваивается каждому продукту. Далее продукт регистрируется в блокчейне посредством этого хеша и рассматривается как цифровой актив в сети блокчейн, где хеш используется для отслеживания его в любое время [Наг, 2018]

В отчете консалтинговой компании PwC «Shifting patterns: The future of logistics industry» [PwC, 2016] авторы указывают следующие преимущества применения блокчейн-технологии в УЦП: 1) защита от мошенничества; 2) снижение количества узких мест; 3) исключение ошибок ручного ввода; 4) общее повышение эффективности ЦП. Для того чтобы получить более полную картину, можно обратиться к работе [Dobrovnik et al., 2018], где исследователям удалось собрать наибольшую часть преимуществ применения блокчейн-технологии в УЦП. Помимо уже названных преимуществ, там также указаны: а) возможности эффективного и бесперебойного отслеживания продукции и транспортных средств; б) эффективное использование QR-кодов, RFID- и NFC-меток, WiFi и iVasops; в) снижение государственного влияния на деятельность компании; г) повышение лояльности потребителей.

Обобщая вышесказанное, можно заметить, что большинство авторов работ сходятся во мнении относительно того, как именно можно применить блокчейн в УЦП и какие у него преимущества. Наиболее часто упоминаемыми преимуществами являются:

- прозрачность и неизменяемость записей [Binance, 2019; Hackius, Petersen, 2017];
- возможность реализации track-and-trace активностей [Wanga et al., 2019];
- снижение транзакционных издержек [Issaouia et al., 2019; Binance, 2019; Wanga et al., 2019];

- возможность предсказывать неблагоприятные события и предотвращать их [Wanga et al., 2019];
- автоматизация процессов, связанных с анализом данных [Wanga et al., 2019; Binance, 2019];
- возможность интеграции устройств интернета вещей и всевозможных датчиков [PwC, 2016; Issaouia et al., 2019];
- замена EDI более эффективной системой обмена информацией [Binance, 2019].

Как и у любой другой технологии, помимо преимуществ и возможностей применения, у блокчейн-технологии есть и определенные ограничения. Авторы [Tholen, Vires, 2019] исследования указывают, что ограничения использования блокчейн-технологии в УЦП как технологические, так и законодательные. Зачастую, в большинстве стран, в частности на постсоветском пространстве, попросту нет законодательной базы, которая могла бы обеспечить правовое регулирование блокчейн-технологии и ее применения в логистике и УЦП на сегодняшний день.

Если же говорить об ограничениях блокчейн-технологии в области логистики и УЦП, то в работе [Ермаков, Кузьминых, 2019] авторы перечислили основные из них: 1) большой размер базы блокчейна, 2) длительное время подтверждения транзакций, 3) отсутствие нормативно-правовой регуляции, 4) «правильность» смарт-контрактов, 5) «проблема 51%» (проблема византийских генералов), 6) проблема масштаба сетевого эффекта и еще порядка шести проблем. Однако это вовсе не отменяет перспективности технологии и открывает новые горизонты для ее понимания и модификации с целью сведения ограничений к минимуму. Кроме того, для полноценной работы блокчейн-сети необходима ее интеграция с многочисленными устройствами интернета вещей, что существенно увеличивает затраты на внедрение технологии. Здесь же необходимо учитывать, что обмен информацией о цепочке поставок и ее обработка не ограничивается уровнем бизнес-процесса, но также включает огромный объем данных как с IoT-устройств и датчиков, так и от приложений для социальных сетей и многого другого [Куприяновский и др., 2017].

Помимо этого, самая значимая сложность, которая возникает у компаний, внедряющих блокчейн в цепь поставок, — это сложность в привязке физических активов к цифровым, что подразумевает применение технологий RFID и NFC [Song et al., 2019]. Другое ограничение технологии — ее инновационный характер,

который может восприниматься инвесторами, акционерами, руководством и простыми сотрудниками негативно. Внедрение блокчейна также предполагает вовлечение в сеть всех контрагентов, некоторые из них могут быть не готовы к этому, что потребует длительных сложных переговоров [Морозова, 2018].

Техническими ограничениями применения блокчейна в УЦП являются растущая потребность в ресурсах памяти (все хранят локальную копию всей сети) и длительность регистрации транзакций, которая зависит от многих факторов. Более того, блокчейн имеет дело с виртуальными объектами, т.е. обеспечивает актуальность и корректность информации об объекте, но не может препятствовать их физическому повреждению и краже [Там же].

Говоря об ограничениях, никто из авторов, рассмотренных работ, не обратил внимания на одну из ключевых проблем применения блокчейн-технологии: это острая нехватка кадров в данной области. В силу инновационного характера технологии, на данный момент она изучена не полностью, а образовательных учреждений, дающих знания о функционировании блокчейна, крайне мало. Например, за 2018 год спрос на блокчейн-специалистов в США вырос на 400% [Forklog, 2019]. Это сигнализирует как о готовности компаний применять эту технологию, так и о неготовности рынка предоставить достаточное количество специалистов компаниям, которые смогут вести блокчейн-проекты различной сложности.

Выводы

- Изначально блокчейн-технология применялась как экосистема для функционирования биткоина и других криптовалют, но области ее применения намного шире (финансы, страхование, логистика, управление цепями поставок и т.д.). Технология уже активно используется крупными компаниями, что еще раз подтверждает ее многогранность.
- Практика применения умных контрактов в сфере здравоохранения, купли-продажи недвижимости и страховании уже нашла свое широкое применение. Однако перспективы и возможности использования умных контрактов в управлении цепями поставок менее изучены и нуждаются в глубоком исследовании. Это особенно актуально в настоящее время, в эпоху глобальной цифровизации экономики и других отраслей. Переход с бумажных, классических договоров на цифровые,

умные контракты в ближайшие годы кажется не только логичным, но и очевидным.

- 2016—2018 годы являются пиком популярности технологии. Одно только слово «блокчейн» в названии компании могло повысить ее рыночную стоимость в десятки раз. На этот же период времени приходится публикация большей части заметок, исследований и статей по данной технологии.

- На сегодняшний день можно наблюдать достаточно ограниченное количество лучших практик применения блокчейн-технологии в УЦП. Примерно 80% работ на данную тему включают эти лучшие практики, в особенности IBM-Maersk, Everladger, Provenance и Alibaba.

- В настоящее время в России представлено не так много отечественных блокчейн-решений, направленных на УЦП. Как правило, это решения отдельно взятых компаний, которые не могут быть переняты другими.

- «РЖД» — одна из отечественных компаний, которая применяет блокчейн-технологии. Однако на текущий момент нет достоверных данных о готовности крайнего блокчейн-проекта, который должны были подготовить к декабрю 2019 года. Другим примером отечественной компании, которая применяет блокчейн в УЦП, служит «Газпром».

- В силу нехватки эмпирических данных по применению блокчейн-технологии в УЦП, а также из-за небольшого количества лучших практик, предложенные модели в большинстве исследований базируются на обзоре литературы и опросах различных представителей бизнеса.

- Цифровые цепи поставок — то, к чему идут все компании, однако переход от классического варианта к цифровому имеет множество подводных камней помимо высоких инвестиций в инфраструктуру сети.

- Устройства интернета вещей являются уязвимыми и их применение без блокчейн-технологии ставит под угрозу кибербезопасность не просто отдельно взятой компании, а всей цепи поставок.

- Помимо технологических и законодательных ограничений технологии, острой проблемой является нехватка кадров в области блокчейн-проектов. В 2018 году спрос на таких специалистов в США вырос на 400%. Если говорить о России, то

предложенных вакансий, связанных с блокчейн проектами в области УЦП, почти нет.

Список литературы

A2B Direct. Блокчейн-сервис отправки грузов. Available at: <<https://a2b.direct>> (accessed: 30.12.2019).

Без бумажной волокиты и посредников — как блокчейн меняет грузоперевозки // Интернет-журнал Forklog. 2017. Available at: <<https://forklog.com/bez-bumazhnoj-volokity-i-posrednikov-kak-blokchejn-menyayet-gruzoperevozki/>> (accessed: 06.01.2020).

Газпром нефть и S7 Airlines первыми в России переводят авиазаправку на технологию блокчейн // Пресс-центр «Газпром нефть». 2019. Available at: <<https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-i-s7-airlines-pervymi-v-rossii-perevodyat-aviazapravku-na-tekhnologiyu-blokcheyn/>> (accessed: 06.01.2020).

Гуменюк Н.В., Гуменюк М.М. Концептуальные механизмы управления цепями поставок на основе технологии блокчейн // Вестник института экономических исследований. 2019. Vol. 13. P. 119–127.

Ермаков Е.И. Анализ прикладного использования технологии блокчейна в логистике // Материалы 1-й Международной научно-практической конференции «Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. 2017. P. 318–324.

Ермаков Е.И., Кузьминых С.С. Применение технологии распределенного реестра как одного из механизмов цифровой интеграции цепей поставок. Экосистема цифровой экономики // E-management. 2019. Vol. 2. P. 45–58.

Исследование: спрос на блокчейн-специалистов в США вырос в четыре раза // Интернет-журнал Forklog. 2018. Available at: <<https://forklog.com/issledovanie-spros-na-blokchejn-spetsialistov-v-ssha-vyros-v-chetyre-raza/>> (accessed: 06.01.2020).

Касаев Б.С., Корниенко П.А. Применение Blockchain-технологии в логистике и управлении цепями поставок // Инновации и инвестиции. 2017. Vol. 3. P. 164–170.

Корниенко П.А. Применение Blockchain технологии в управлении цепями поставок: новый путь к прозрачности и прослеживаемости // Логистика и управление цепями поставок. 2018. Vol. 85. P. 30–34.

Криптовалютная биржа Binance.com. Available at: <<https://binance.com>> (accessed: 30.12.2019).

Куприяновский В.П., Синягов С.А., Климов А.А. и др. Цифровые цепи поставок и технологии на базе блокчейн в совместной экономике // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Vol. 5. P. 80–94.

Морозова Ю.А. Программные решения блокчейн в логистике и управлении цепями поставок // Информационное общество. 2019. Vol. 6. P. 1–14.

Оборевич А.А., Молдован А.А. Блокчейн-решение компании IBM для управления цепями поставок на продовольственном рынке // Вестник науки и образования. 2019. Vol. 76. P. 25–27.

Отчет консалтинговой компании PwC: Shifting patterns: The future of logistics industry, official report. 2016. Available at: <<https://www.pwc.com/sg/en/publications/assets/future-of-the-logistics-industry.pdf>> (accessed: 06.01.2020).

Панюкова В.И. Международный опыт применения технологии блокчейн при управлении цепями поставок // Экономика и управление. 2018. Vol. 4. P. 60–67.

РЖД вложит 40 млн рублей в блокчейн-проект для грузоперевозок // Информационное интернет-агентство BitsMedia. 2019. Available at: <<https://bits.meda/rzhd-vlozhit-40-mln-rublej-v-blokcheyn-proekt-dlya-gruzoperevozk>> (accessed: 06.01.2020).

РЖД начинает использовать блокчейн в грузоперевозках // Информационное интернет-агентство BitsMedia. 2017. Available at: <<https://bits.media/rzhd-nachinaet-ispolzovat-blokcheyn-v-gruzoperevozkakh/>> (accessed: 06.01.2020).

РЖД начнут использовать блокчейн и смарт-контракты для ведения договоров // Информационное интернет-агентство BitsMedia. 2018. Available at: <<https://bits.meda/rzhd-nachnut-ispolzovat-blokcheyn-i-smart-kontrakt-dlya-vedenya-dogovorov/>> (accessed: 06.01.2020).

Свон М. Блокчейн. Схема новой экономики. М.: Олимп—Бизнес, 2017. 227 с.

Сергеев В.И., Кокурин Д.И. Применение инновационной технологии «Блокчейн» в логистике и управлении цепями поставок // Journal of Creative Economy. 2018. Vol. 2. P. 125–140.

Стартап Everledger использует блокчейн для борьбы с подделкой предметов роскоши // Интернет-журнал Forklog. 2015. Available at: <<https://forklog.com/startup-everledger-ispolzuet-blokcheyn-dlya-borby-s-poddelkoj-predmetov-roskoshi/>> (accessed: 06.01.2020).

Abeyratne S.A., Monfared R.P. Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger // International Journal of Research in Engineering and Technology. 2016. Vol. 9. P. 1–10.

Azzia R., Chamouna R.K., Sokhnb M. The power of a blockchain-based supply chain // *Computers & Industrial Engineering*. 2019. Vol. 135. P. 582–592 .

Badzar A. Blockchain for securing sustainable transport contracts and supply chain transparency // *LU Department of Service Management and Service Studies. Master's Thesis*. 2017. P. 1–51. Available at: <<http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8880383&fileId=8880390>> (accessed: 23.12.2019).

Bhargava R., Ranchal L.B. Secure information sharing in digital supply chains // *3rd IEEE Int. Adv. Computer Conference*. 2013. P. 1636–1640. Available at: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6514473>> (accessed: 03.01.2020).

Buyukozkan G., Gocer F. Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research // *Computers in Industry*. 2018. Vol. 97. P. 157–177.

Casado-Varaa R., Prietoo J., Prientaa F.D., Corchadao J. How blockchain improves the supply chain: case study alimentary supply chain // *Procedia Computer Science*. 2018. Vol. 134. P. 393–398.

Casey M. J., Wong P. Global Supply Chains are about to get better, Thanks to Blockchain // *Harvard Business Review*. 2017. Available at: <<https://hbr.org/2017/03/global-supply-chains-are-about-to-get-better-thanks-to-blockchain>> (accessed: 23.12.2019).

CoinMarketCap. Инструмент анализа рынка криптовалют и криптоактивов. Available at: <<https://coinmarketcap.com/>> (accessed: 30.12.2019).

Destinia. Блокчейн-сервис покупки железнодорожных билетов в Европе за криптовалюту. Available at: <<https://destinia.ru/>> (accessed: 30.12.2019).

Dobrovnik M., Herold D., Furst E., Kummer S. Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start. Available at: <<https://www.mdpi.com/2305-6290/2/3/18>> (accessed: 05.01.2020).

Dorri A., Kanhere S.S., Jurdak R., Gauravaram P. Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home // *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*. 2017. Available at: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7917634>> (accessed: 23.12.2019).

Geravis A., Wust K. Do you need a Blockchain? *Crypto Valley Conference on Blockchain Technology*. 2018. P. 45–54. Available at: <<https://eprint.iacr.org/2017/375.pdf>> (accessed: 02.01.2020).

Habebeck H.C., Hewett N., McKay P.A. Inclusive Deployment of Blockchain for Supply Chains: Part 3 — Public or Private Blockchains — Which One Is Right for You? // *World Economic Forum*. 2019. Available at: <<http://www3.wefo->

rum.org/docs/WEF_Inclusive_Deploymentof_Blockchain_for_Supply_Chains.pdf> (accessed: 23.12.2019).

Hackius N., Petersen M. Blockchain in Logistics and Supply Chain: Trick or Treat? // Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL). 2017. P. 3–18. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/318724655_Blockchain_in_Logistics_and_Supply_Chain_Trick_or_Treat> (accessed: 03.01.2020).

Haq I. Blockchain Technology in Pharmaceutical Industry to Prevent Counterfeit Drugs // International Journal of Computer Applications. 2018. Vol. 180. P. 8–12.

Hewett N., Lehmacher W., Wang Y. Inclusive Deployment of Blockchain for Supply Chains: Part 1 — Introduction // World Economic Forum. 2019. P. 1–26. Available at: <<https://www.weforum.org/whitepapers/inclusive-deployment-of-blockchain-for-supply-chains-part-1-introduction>> (accessed: 23.12.2019).

Hines T. Supply chain strategies: customer-driven and customer-focused. 2004. P. 1–387. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/280578438_Supply_Chain_Strategies_Customer_Driven_and_Customer_Focused> (accessed: 03.01.2020).

IBM's Food Blockchain Is Going Live With a Supermarket Giant on Board. Available at: <<https://www.coindesk.com/ibm-food-supply-chain-blockchain-carrefour-live-production>> (accessed: 30.12.2019).

Issaouia Y., Khiata A., Bahnasseb A., Ouajji H. Smart logistics: Study of the application of blockchain technology // Procedia Computer Science. 2019. Vol. 160. P. 266–271.

Jansson F., Petersen O. Blockchain Technology in Supply Chain Traceability Systems // LU Engineering Logistics. Master's Thesis. 2017. P. 1–86. Available at: <<https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8918347>> (accessed: 23.12.2019).

Jensen H.H., Hewett N. Inclusive Deployment of Blockchain for Supply Chains: Part 2 — Trustworthy verification of digital identities // World Economic Forum. 2019. Available at: <<https://www.weforum.org/whitepapers/inclusive-deployment-of-blockchain-for-supply-chains-part-2-trustworthy-verification-of-digital-identities>> (accessed: 23.12.2019).

Kinnet J. Creating a Digital Supply Chain: Journey SlideShare. 2015. P. 1–16. Available at: <<https://www.slideshare.net/BCTIM/creating-a-digital-supply-chain-monsantos-journey>> (accessed: 05.01.2020).

Korpela K., Hallikas J., Dahlberg T. Digital Supply Chain Transformation towards Blockchain Integration. 50th Hawaii International Conference on System

Sciences, 2017. P. 4182–4191. Available at: <<https://elk.adalidda.com/2017/05/paper0517.pdf>> (accessed: 02.01.2020).

Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2008. P. 1–9. Available at: <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>> (accessed: 23.12.2019).

Parter P.L., Monczka R.M., Ragatz G.L. Supply Chain Integration: Challenges and Good Practices. 2009. Available at: <<https://www.supplychainbrain.com/articles/5448-supply-chain-integration-challenges-and-good-practices>> (accessed: 03.01.2020).

Petersen K.J. Blockchain in Supply Chain//IT University of Copenhagen. 2017. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/320559792_Blockchain_in_supply_chain> (accessed: 23.12.2019).

Raab M., Griffin-Cryan B. Digital Transformation of Supply Chains: Creating Value—When Digital Meets Physical // Capgemini Consulting Report. 2011. Available at: <https://www.capgemini.com/consulting/wp-content/uploads/sites/30/2017/07/Digital_Transformation_of_Supply_Chains.pdf> (accessed: 03.01.2020).

Raj S., Sharma A. Supply Chain Management in the Cloud. 2014. Available at: <<https://www.accenture.com/tr-en/insight-supply-chain-management-cloud>> (accessed: 23.12.2019).

Ream J., Chu Y., Schatsky D. Upgrading blockchains: Smart contract use cases in industry // Deloitte University Press. 2016. Vol. 4. P. 1–11. Available at: <<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/signals-for-strategists/using-blockchain-for-smart-contracts.html>> (accessed: 23.12.2019).

Reyna A., Marin C., Jaime C. et al. On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities. Future Generation Computer Systems. 2018. Vol. 88. P. 173–190.

Richey R.G., Morgan T.R., Lindsey-Hall K., Adams F.G. A global exploration of big data in the supply chain // International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 2017. Vol. 46. P. 710–739.

Rozman N., Vrabic R., Corn M. et al. Distributed logistics platform based on Blockchain and IoT // Procedia CIRP. 2019. Vol. 81. P. 826–831.

Schmidt B., Wallenburg C.M., Rutkowsky S. et al. Digital Supply Chains: Increasingly Critical for Competitive Edge // A.T. Kearney's European excellence in supply chain management study. 7th ed. 2015. Available at: <<https://docplayer.net/3304945-Digital-supply-chains-increasingly-critical-for-competitive-edge.html>> (accessed: 05.01.2020).

Song J.M., Jongwook S., Park T. Applications of Blockchain to Improve Supply Chain Traceability // Procedia Computer Science. 2019. Vol. 162. P. 119–122.

Tholen J., Vires D. Is there a role for blockchain in responsible supply chains? OECD Global Blockchain Policy Forum. 2019. P. 3–27. Available at: <<http://www.oecd.org/fr/gouvernementdentreprise/is-there-a-role-for-blockchain-in-responsible-supply-chains.htm>> (accessed: 02.01.2020).

Tonissen S., Teuteberg F. Analysing the impact of blockchain-technology for operations and supply chain management: An explanatory model drawn from multiple case studies // International Journal of Information Management. 2019. Article in press. <<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.009>>.

Treiblmaier H. The impact of the blockchain on the supply chain: a theory-based research framework and a call for action // Supply Chain Management: An International Journal. 2018. Vol. 26. P. 545–559.

Wanga Y., Singgiha M., Wanga J., Rit M. (2019). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? // International Journal of Production Economics. 2019. Vol. 211. P. 221–236.

Xu J. Managing Digital Enterprise. Atlantic Press. 2014. P. 1–196.

3.4. Интернет вещей (IoT – Internet of Things)

Интернет вещей — это новая парадигма, которая в последнее время быстро развивается благодаря современным беспроводным технологиям. Основной идеей данной концепции является повсеместное взаимодействие и сотрудничество различных объектов и вещей для достижения поставленных целей посредством RFID-меток, сенсоров, датчиков, мобильных телефонов и т.д.

По данным исследования PwC за 2017 год², IoT занимает 1-е место среди восьми «прорывных» технологий, способных изменить бизнес-модели компаний и индустрий. Интернет вещей опережает в этом рейтинге искусственный интеллект, дополненную реальность, технологию управления дронами и даже блокчейн. IoT также находится на 1-м месте в рейтинге, учитывающем уровень инвестиций в перспективные технологии.

Почему IoT ставят на верхние позиции? Специалисты отмечают несколько причин:

² «Интернет вещей» (IoT) в России: Технология будущего, доступная уже сейчас. PwC Digital IQ, 2017. 60 p.

- IoT могут применять как для обслуживания массового потребителя, так и в бизнесе в целом.
- Для начала использования IoT уже готова инфраструктура из мобильных и фиксированных сетей.
- Дальнейшее внедрение IoT с применением сенсоров, приложений и платформ стоит достаточно дешево.

Кроме того, на распространение IoT повлияли снижение стоимости вычислительных мощностей, удешевление услуг передачи данных, развитие «облачных» технологий и Big Data, а также рост количества «подключенных» устройств.

Авторы указанного выше отчета PwC пишут:

Мы считаем, что за счет применения технологий IoT взаимодействие объектов, среды и людей будет крайне активным, благодаря чему можно надеяться на то, что мир станет «умным» и более благоустроенным для человека. Постоянный и увеличивающийся обмен данными требует развития новых сервисов, которые должны соединить нас с физическим миром вокруг. Эти сервисы также должны быть построены на полностью новых бизнес-моделях и обеспечить новые финансовые потоки.

IoT существует как часть формирующейся технологической экосистемы с применением облачных технологий и аналитикой больших данных. Взаимодействие происходит между людьми и объектами в программных средах, которые могут воспользоваться новыми и инновационными услугами, предоставляемыми через облако и поддерживаемыми все более мощным набором аналитических инструментов.

По оценке Глобального института McKinsey³, только интернет вещей до 2025 года будет ежегодно приносить мировой экономике от 4 до 11 трлн долл. США. По оценкам исследователей, количество подключаемых устройств к IoT увеличится с 16 млрд в 2014 году до 75 млрд в 2020-м⁴, создавая глобальный рынок продукции и услуг для IoT, измеряемый в триллионах долларов. В будущем каждый элемент, который вы можете изготовить или продать, будет наделен датчиком или меткой, что позволит точно знать местоположение товара и его количество. То же самое относится к

³ <<https://www.mckinsey.com/mgi/overview>>.

⁴ <<https://supplychainbeyond.com/process-robots-enabling-supply-networks/>>.

вашим сотрудникам, торговым партнерам, поставщикам, бизнес-партнерам и прочим агентам в цепи поставок.

Основные компоненты IoT представлены на рис. 5.



Рис. 5. Основные компоненты интернета вещей

Источник: Ли Перри. Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М.А. Райтмана. М.: ДМК Пресс, 2019. 454 с.

Определение интернета вещей можно трактовать следующим образом: *это концепция, основная идея которой заключается в создании интеллектуальной цифровой среды (в которую входят Интернет вещи, информация и люди) с помощью различных устройств и технологий (RFID-метки, сенсоры, датчики, мобильные телефоны, компьютеры и т.д.), для сбора, обработки и анализа данных в целях дальнейшего совместного взаимодействия.* В общем случае под Интернет вещами понимаются материальные объекты, подключенные к Интернету (см. рис. 5).

В логистике внедрение технологий IoT позволяет решать такие актуальные для многих отраслей задачи, как сокращение затрат на грузоперевозки и задержки в пути, повышение прозрачности перевозок и минимизация влияния человеческого фактора. Подключенный к Интернету автотранспорт и удаленный мониторинг автопарка позволят сократить операционные расходы за счет оптимизации ремонта и обслуживания техники. Кроме того, широко распространяется «уберизация» грузоперевозок, которая дает возможность отказаться от услуг компаний-экспедиторов. Благодаря внедрению IoT в логистике мы можем говорить о появ-

лении таких новых сервисов, как системы управления автопарком через «подключенные» датчики на транспорте; автоматические системы диспетчеризации, позволяющие управлять транспортными потоками и вести учет грузов и транспортных средств на протяжении всей цепи поставок с помощью RFID-меток. Проекты «уберизации» грузовых перевозок — GoCargo и iCanDeliver — предоставляют перевозчикам и заказчикам прозрачный инструмент установления контакта без посредников.

Мониторинг транспортировки в цепях поставок с помощью GPS и датчиков позволяет в первую очередь снизить расход горючего (эксперты прогнозируют возможное снижение до 20%), а также оптимизировать маршруты и загрузку персонала. В российской практике актуальным также остается вопрос сохранности груза в процессе перемещения — соответствующие датчики позволяют полностью отслеживать как местонахождение, так и вес перемещаемого груза, тем самым практически ликвидируя возможности для мошенничества.

Основные области применения IoT в логистике представлены на рис. 6.

Специалисты PwC оценивают экономический эффект от внедрения IoT в логистике в 542 млрд руб. до 2025 года (рис. 7).

Приведем примеры использования IoT на современном складе. Большинство современных складских комплексов уже оснащены системами управления складом — WMS), которые получают данные от сканирования штрихкодов и RFID-меток, размещенных на упаковке товаров. Более продвинутый уровень — системы контроля склада — Warehouse Control Systems (WCS): сенсорами оборудовано складское оборудование, а не только товары, и этими данными располагают системы. Также некоторые склады оснащены системами автоматизации обслуживания зданий — Building Automation Systems (BAS). Такие системы с помощью специальных датчиков могут отслеживать и управлять освещением, кондиционированием и вентиляцией, а также обеспечивать работу подсистем безопасности и контроля доступа на склад.

Современные системы WMS, WCS и BAS оборудованы интерактивными интерфейсами — дашбордами, позволяющими складским работникам управляться со сложным хозяйством. Технологии интернета вещей позволяют объединить данные этих систем, обеспечить их кросс-взаимодействие для решения более сложных задач. Например, если речь идет о хранении скоропортящейся про-

дукции, требующей специального температурного режима, система BAS может отслеживать колебание температуры на участке склада через сенсоры. И если оно достигло критического значения, подавать сигнал в систему WMS, а та в свою очередь — информировать складских работников о сложившейся ситуации.

IoT в логистике может принимать разные формы, объединяя различные технологии, начиная от непосредственно подключаемых устройств (датчиков, сенсоров, меток, роботов) и заканчивая способами обеспечения между ними интерконнекта. Связность устройств и систем обеспечивают беспроводные технологии передачи данных Bluetooth, RFID, Zigbee и Wi-Fi, а также мобильные сети 4G и LTE, объединяющие весь комплекс устройств в единое целое.

По прогнозам компании Cisco, к 2020 году в мире будет насчитываться около 50 млрд подключенных к сети устройств, включая промышленные. Из них только 17% будет приходиться на компьютеры и смартфоны. По данным Zebra Technologies и Forrester Research, рост проникновения IoT на производстве в 2017 году по сравнению с 2012 годом составил около 380%. По итогам 2017 года 73% респондентов так или иначе использовали технологии IoT на производстве.

По оценкам DHL и Cisco, технологии IoT сгенерируют около 8 трлн долл. активов в ближайшие десять лет, из них 1,9 трлн долл. придется на отрасль логистики и УЦП. Влияние, которое интернет вещей оказывает на логистический сектор, невозможно переоценить: решения такого рода активно применяются в рамках складских операций, транспортировки грузов и для доставки на уровне «последней мили».

По данным Markets and Markets, адаптация подключенных устройств в логистике складирования будет увеличиваться во всех основных областях, включая управление запасами, грузопереработку, трекинг и мониторинг, инвентаризацию и прикладные телематические системы. Драйверами при этом являются снижение стоимости сенсоров и RFID-устройств, что делает возможности их применения повсеместными. Ключевые поставщики на рынке решений IoT — Cisco, Eurotech S.P.A., GT Nexus, IBM и Infosys. Есть также многочисленные нишевые игроки, например, Thing Worx и Secure RF: они разрабатывают софтверные решения для повышения эффективности логистических процессов. Также особняком стоят производители «железной» части, датчиков, сен-



Технологии на основе IoT для логистики:

- Спутниковая геолокация
- Мобильный интернет
- «Облачный» вычисления
- RFID



Рис. 6. Области применения IoT в логистике

Источник: «Интернет вещей» (IoT) в России: Технологии будущего, доступная уже сейчас. PwC Digital IQ, 2017. Р. 29.

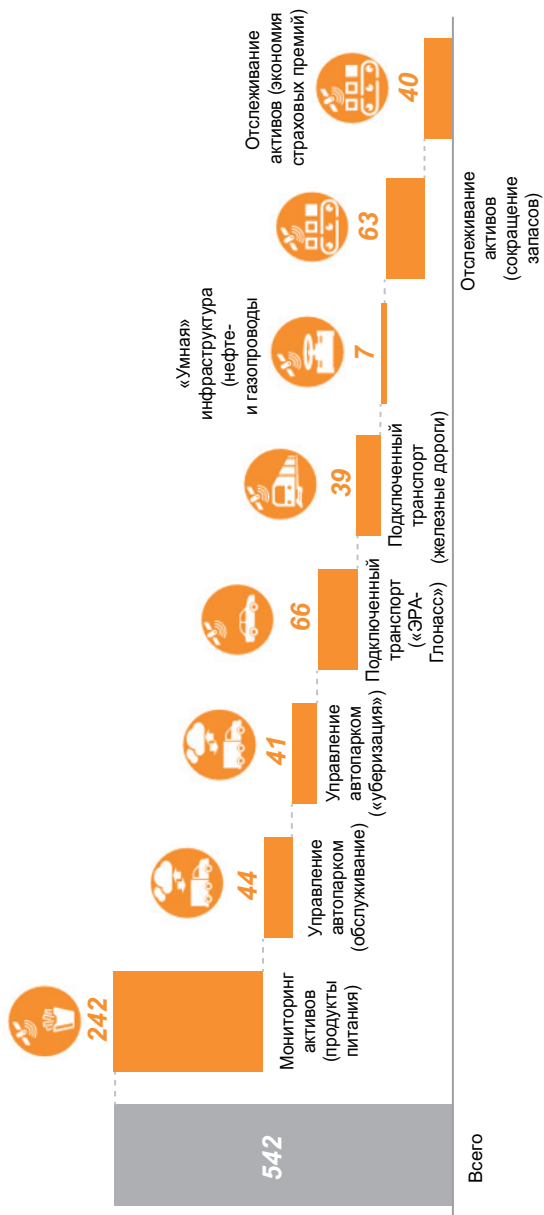


Рис. 7. Оценка экономического эффекта от применения IoT в логистике до 2025 года

Источник: «Интернет вещей» (IoT) в России., Р. 32.

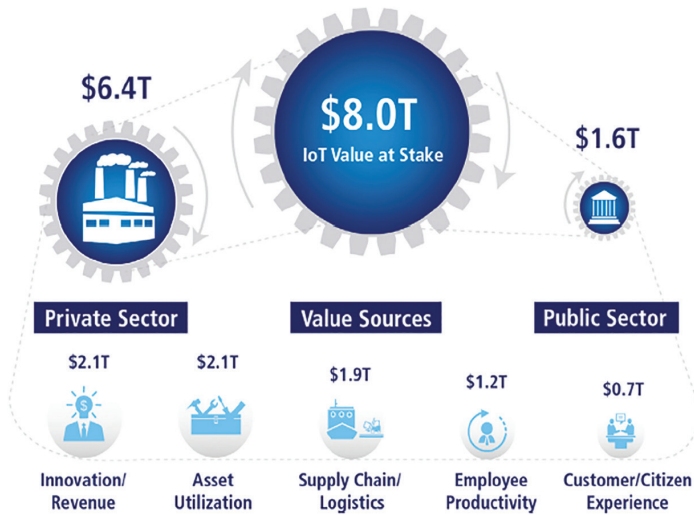


Рис. 8. Объем совокупных IoT-активов, которые будут сгенерированы в 2017–2025 годы (прогноз)

Источник: DHL, Cisco (DHL Trend Report Internet of Things), 2017.

соров, роботизированных устройств и прочих прикладных гаджетов. Аналитики предрекают, что многие ИТ-компании будут вовлечены в этот рынок в ближайшее время.

IoT-устройства используются на складах в первую очередь для того, чтобы получить информацию о параметрах материальных потоков на всем протяжении цепи поставок, чтобы затем обрабатывать и анализировать полученные данные. Это позволяет контрагентам цепи задействовать ИТ-инструменты в борьбе за операционную эффективность, при этом создавая новые автоматизированные сервисы как для внутренних, так и для внешних пользователей. Один из вариантов использования на складе датчиков и сенсоров как элементов интернета вещей представлен на рис. 9.

Основные области применения интернета вещей в логистике складирования следующие⁵:

⁵ <<https://iot.ru/riteyl/umnye-sklady-kak-sensory-roboty-i-drony-menyayut-logistiku>>.

- «умная» инвентаризация (smart inventory management) — данные сенсоров и датчиков передаются в WMS-систему, позволяя в интерактивном режиме следить за тем, что именно хранится на складе и в каком количестве, а также исправлять ошибки хранения;
- контроль за целостностью и сохранностью товаров и других материальных активов склада. Например, с помощью расположенных на складе и в зоне отгрузки камер можно выявить хищения или нарушение целостности упаковки продукции;
- повышение качества обслуживания клиентов. Датчики в зоне отгрузки могут обеспечить дополнительный контроль за тем, что конкретный груз отправляется нужному клиенту: это предохраняет от ошибок и пересортицы. Можно организовывать различные сервисы для VIP-клиентов по мониторингу принадлежащих им и находящихся на хранении товаров в режиме онлайн, что благоприятно скажется на их лояльности. Клиенты, которые могут отследить свой груз по всей цепи поставок, испытывают гораздо большее доверие к логистическому провайдеру.

Также IoT-решения позволяют повысить эффективность работы складского оборудования, начиная от погрузчиков и заканчивая лентами транспортеров: они могут быть оснащены датчиками, чтобы определить их оптимальную пропускную способность и скоростной режим. Подобные решения предлагает, например, компания Swisslog, одно из них называется Smart LIFT⁶.

Система определения местоположения Smart LIFT в режиме реального времени Swisslog направляет, контролирует и отслеживает каждое движение транспортного средства (вилочного погрузчика) на складе в пределах зоны действия локальной системы GPS. Наряду с видимостью всех объектов ПТО, операторов и движения товаров на складе система обеспечивает контроль работы оборудования и инструменты управления парком ПТО для отслеживания эффективности его использования. Чтобы найти погрузчик, оптическая технология, смонтированная на нем, декодирует серийные штрихкоды матрицы данных, прикрепленные к потолку. Технология может отслеживать погрузчики с точностью до 1 дюйма. Другие датчики, установленные на подъемно-транс-

⁶ <https://www.materialhandling247.com/product/smartlift_real_time_location_system/ergo>.



Рис. 9. Датчики и сенсоры IoT на современном складе

Источник: Симакина А. «Умные склады»: как сенсоры, роботы и дроны меняют логистику. <<https://iot.ru/riteyl/umnye-sklady-kak-sensory-roboty-i-drony-menyayut-logistiku>>.

портном средстве, обеспечивают оператора информацией о наличии поддонов, высоте вилок, данные о таре и паллете.

Рассмотрим кратко основные преимущества, получаемые посредством интернета вещей в УЦП. Контрагенты цепей поставок могут оперативно реагировать на изменения и рискованные события при интеграции IoT в свои процессы. Системы IoT в цепях поставок могут автоматически оценивать приоритеты, просматривать варианты решения проблем, связанных, например, с задержкой доставки скоропортящихся грузов, поломками транспорта, созданием дополнительных запасов и т.п. Интеллектуальная автоматизация в цепи поставок за счет IoT — это увеличение прибыли контрагентов цепи, сокращение избыточных запасов продуктов, которые быстро теряют ценность, быстрая реакция на изменения

потребностей клиента или доступности поставщиков, оптимизация затрат на доставку и т.д.

С помощью IoT контрагенты цепи поставок могут:

- легко обрабатывать прибыльные заказы;
- консолидировать поставки на основе приоритетных факторов;
- немедленно перенаправлять товар, если в этом возникает необходимость;
- быстро доставлять запасные части по сервисным запросам;
- обеспечивать гибкое производство изделий с коротким сроком службы;
- использовать данные в онлайн-режиме для более точного прогнозирования спроса и продаж.

Интернет вещей можно рассматривать как инструмент (средство) для повышения уровня информационной открытости и прозрачности, улучшения процессов планирования, прогнозирования, мониторинга (SCMo) бизнес-процессов в цепях поставок. Примером может служить химический гигант Dow Chemical, использующий технологии интернета вещей для контроля над транспортировкой и распределением грузов, в частности, различные идентификаторы (RFID, GPS, штрихкоды), а также датчики, отслеживающие перемещение грузов и условия окружающей среды при транспортировке. Данные с датчиков поступают в ERP-систему компании, где анализируются и предоставляются менеджерам в виде таблиц и графиков⁷.

За счет получения новых данных с различных устройств интернета вещей появляется возможность улучшить процессы контроля и аудита операций (в частности, транспортных) в цепях поставок. Так, компания Nestle внедрила беспроводные системы управления транспортными средствами (vehicle management systems — VMS). Они могут автоматически загружать данные о транспортном средстве, сообщать о проблемах и даже автоматически составлять расписание технического обслуживания машин, основываясь на реальных потребностях. VMS включает в себя интеллектуальный датчик удара, а также автоматические функции отключения двигателя, когда грузовики оставлены на холостом ходу, что позволяет снизить расход топлива и выбросы⁸.

⁷ <<https://www.comparethecloud.net/author/justin-blanchard/>>.

⁸ <<https://www.mhlnews.com/archive/nestl-chooses-id-systems-calm-its-waters>>.

В то же время интернет вещей предоставляет новые возможности для повышения лояльности клиента за счет прогнозирования его будущих потребностей, а также улучшения уровня логистического сервиса за счет получения данных непосредственно от метки, встроенной в товар. Так УЦП может реагировать на меняющиеся потребности клиентов в режиме реального времени и эффективно использовать новые цифровые бизнес-модели продаж — «продукты-как-услуга» («product-as-a-service»).

Отдельное внимание уделяется возможному влиянию интернета вещей на процесс планирования продаж и операций (sales and operations planning — S&OP) в цепях поставок, и выделяют два направления по его использованию. Первое направление основано на сборе всех данных, поступающих с устройств интернета вещей (датчиков, сенсоров и т.д.), их хранении на едином сервере для дальнейшей обработки и анализа. При почти бесконечном потоке данных и их разнородности требования к фактическому хранению и обработке всех этих данных очень высокие. Соответственно, необходимы значительные капиталовложения в инфраструктуру по хранению, сбору, обработке и анализу данных. При этом возникает сомнение в том, что даже при успешном проектировании такой инфраструктуры можно получить доступ к данным в режиме реального времени, что является важным фактором для динамического управления изменениями в цепи поставок.

Второе направление, изучающее применение IoT при планировании в цепях поставок, основано на том, что сами подключенные устройства имеют возможность анализировать данные и взаимодействовать между собой и с системой планирования цепей поставок. Вместо того чтобы собирать и хранить данные, менеджер цепи поставок сможет задать системе свой вопрос, который, в свою очередь, вызовет серию запросов по цепочке и между различными устройствами IoT, объединив их вместе, чтобы дать необходимый ответ.

Технология интернета вещей тесно связана с анализом Big Data, который позволяет эффективно обрабатывать многочисленные данные, полученные от интернета вещей. Для снижения затрат на информационное обслуживание и поддержку указанных технологий, а также для более удобного применения в бизнесе IoT зачастую используют совместно с облачными сервисами.

3.5. Облачные сервисы (Cloud Software/Services)

Облачные сервисы — это концепция/технология предоставления удобного сетевого доступа в режиме «по требованию» к коллективно используемому набору настраиваемых вычислительных ресурсов (например, сетей, серверов, хранилищ данных, приложений и/или сервисов), которые пользователь может оперативно задействовать под свои задачи при сведении к минимуму числа взаимодействий с поставщиком услуги или собственных управленческих усилий. Эта концепция направлена на повышение доступности вычислительных средств и включает **три модели обслуживания**:

1. Cloud Software as a Service (SaaS) — облачное программное обеспечение как услуга, — «ПО как услуга»;
2. Cloud Platform as a Service (PaaS) — облачная платформа как услуга;
3. Cloud Infrastructure as a Service (IaaS) — облачная инфраструктура как услуга.

Исходя из вышесказанного, облачные сервисы для небольших компаний — это приложения для автоматизации бизнеса, распространяемые по модели SaaS (ПО как услуга) через Публичное облако и доступные широкому кругу заказчиков по приемлемой цене.

Сегодня облачные сервисы широко используются ИТ-компаниями и системными интеграторами (в частности, SAP, Oracle, Infor, IBM, Generix, Visagio и др.) для управления логистическими бизнес-процессами в цепях поставок.

Можно выделить следующие преимущества использования облачных технологий в логистике и УЦП⁹:

- Облачные сервисы делают автоматизацию бизнес-процессов цепи поставок значительно более доступной.
- Стоимость облачных сервисов постоянно снижается, а внедрять подобного рода приложения становится проще и быстрее. Облачные решения не требуют никаких капитальных затрат (приобретение сервера, его техническая поддержка

⁹ Адаптировано из: *Антипина П.В.* Облачные технологии в логистической деятельности // Логистика и управление цепями поставок. 2018. № 2. С. 35–38.

и т.д.), вследствие чего снижается себестоимость продукции и издержки обращения.

- Облачные технологии позволяют участникам цепи поставок повысить скорость и точность реализации основных логистических бизнес-процессов, что крайне важно при выполнении клиентского заказа. Компании, которые не применяют облачные сервисы, в случае поломки IT-системы вынуждены тратить свое время на резервное копирование и восстановление данных, что приводит к снижению скорости работы.

- TMS-системы¹⁰ обеспечивают оперативный учет в автоматизированном режиме текущего местоположения транспортных средств (использование данных от определителей координат, установленных на автомобилях) и дорожной обстановки, а также данных о фактах доставки и отгрузки. Это позволяет в онлайн-режиме осуществлять оптимизацию маршрутов и загрузки транспортных средств, предоставлять оперативные и итоговые отчеты о выполнении логистических операций, формировать показатели оценки эффективности операций и др. Трекинг (т.е. отслеживание машины с грузом на маршруте) помогает рассчитать (спрогнозировать) время прибытия автомобиля в место разгрузки. Таким образом, можно с высокой достоверностью спланировать доставку груза и тем самым обеспечить решение таких проблем, как «out-of-stock»¹¹ или лишние запасы. Кроме того, можно отследить и состояние груза, его статус (погрузку, выгрузку, ожидание на складе и проч.).

- С помощью облачных технологий можно создать единую платформу для грузовладельцев и перевозчиков. При размещении заказа грузовладелец задает основные критерии, такие как маршрут, тип груза, его объем, вес, тип автомобиля и т.д., и сразу видит предложения от перевозчиков, которые являются участниками облачной платформы (см., например, сервис «Icandelivery»¹²).

- Для компаний большой проблемой является хранение документации по перевозке. Справиться с ней можно с помощью

¹⁰ См. раздел 4.

¹¹ Отсутствие товара в запасе на складе или на полке магазина.

¹² iCanDeliver — первый онлайн-сервис безопасных грузоперевозок: <http://www.icandelivery.ru/>.

стандартных программ, производители которых предлагают купить их программное обеспечение, установить его себе на компьютер и вносить все необходимые данные в программу вручную. Это не совсем удобно, когда у компании очень большое количество перевозок в месяц, для внесения данных по перевозке в компьютер может понадобиться достаточно большой штат работников. В облаке же весь документооборот можно автоматизировать, так как нет необходимости устанавливать и обновлять программы, а также можно переложить обязанность вносить данные по перевозке на самого перевозчика. Кроме этого, несколько человек всегда могут работать с одним документом, не создавая при этом помех друг другу.

- В облачных сервисах можно задать «важность» доставки, т.е. по шкале от 1 до 10 грузоотправитель может оценить приоритет доставки. Кроме этого, существует возможность создания периодической заявки: когда грузоотправитель пользуется системой не так часто, но периодически, можно не создавать постоянно новую заявку, а пользоваться той, которая сохранена в системе.

- Наличие полной, достоверной, оперативной информации обо всех товарно-материальных потоках в цепи поставок.

- Ускорение оборачиваемости товаров, повышение надежности доставки, вследствие чего повышается уровень обслуживания.

- Облачные сервисы размещаются на удаленных серверах, поэтому если фокусная компания цепи поставок (или любой ее контрагент) развивается, открываются ее филиалы, то нет необходимости покупать какое-либо программное обеспечение, осуществлять работу в облаке можно из любой точки планеты, главное — наличие Интернета.

- Поставщики облачных технологий заботятся о бесперебойной работе ИТ-системы и быстром восстановлении ее работоспособности в случае поломки, поэтому пользователям таких сервисов не нужно переживать за сохранность информации в случае сбоя. Владельцы облачных сервисов также заботятся о регулярном автоматическом обновлении программного обеспечения.

- Все данные и информация пользователя облачных технологий хранятся в единой системе в облаке, поэтому можно не бояться, что при утрате устройства (планшета, ноутбука) потеря-

ется важная информация — вся она надежно хранится в облаке и будет доступна владельцу с любого другого устройства.

Рассмотрим пример использования облачных технологий для ИТ-поддержки логистики и УЦП группой компаний Generix¹³.

Generix Group¹⁴ — разработчик интегрированного программного обеспечения для широкого круга потребителей — обеспечивает поддержку производителей, торговых компаний, дистрибьюторов, логистических операторов в рамках управления логистикой, совместного использования ресурсов и оптимизации товарных потоков в цепях поставок.

Generix — компания-разработчик ПО и прикладных приложений для логистики и УЦП, используемых «по требованию» (On Demand). В группе компаний, имеющей 6 филиалов и сеть партнеров в 16 странах, работают свыше 400 специалистов, обслуживая около 5000 клиентов и 1500 объектов в 30 странах мира. Французский холдинг Generix Group является европейским лидером по использованию облачной платформы SaaS Supply Chain.

Использование единого интегрированного облачного решения (SaaS¹⁵ by Generix) позволяет клиентам получить следующие преимущества:

- варьирование аренды ПО в зависимости от объема бизнеса;
- глобальное решение поддержки логистики с возможностью выбрать нужные логистические процессы в каждой группе (WMS, TMS, Labor, Yard, VMI и др.);
- все Supply Chain-решения у одного поставщика;
- стандартные интерфейсы, гарантирующие совместимость КИС контрагентов;
- быстрое внедрение;
- один SLA¹⁶ на все решения;

¹³ Подробно см.: Дыбская В.В., Сергеев В.И. Логистика: учебник для бакалавров и магистров: в 2 ч. М.: Юрайт, 2016. Ч. 2. 341 с.

¹⁴ <www.generixgroupdemand.com; www.generixgroup.com>.

¹⁵ SaaS (Software as a Service) *программное обеспечение как услуга* — бизнес-модель продажи и использования программного обеспечения, при которой поставщик разрабатывает веб-приложение и самостоятельно управляет им, предоставляя заказчику доступ к программному обеспечению через Интернет.

¹⁶ SLA (Service Level Agreement) — *Договор (соглашение) об уровне предоставления услуг*, обозначающий формальный договор между заказчиком услуг и их поставщиком, содержащий описание услуг, права и обязанности сторон

- низкая стоимость владения (нет больших затрат в начале проекта).

Для осуществления полномасштабной интеграции контрагентов в цепи поставок Generix Group развивает предложения GCI в режиме On Demand на платформе SaaS для EDI/B2B сектора. Платформа SaaS позволяет реализовывать проекты интеграции EDI и взаимодействия B2B. Преимущества облачной платформы SaaS GCI On Demand:

- SaaS, выделенная под области интеграции EDI/B2B;
- широкий набор функций: EDI, B2B, EAI, WEB-EDI, электронное фактурирование, развертывание;
- разработкой и эксплуатацией программы занимаются эксперты в области функций и технологии EDI;
- техническая поддержка и профилактика на всех этапах работы;
- самый высокий на рынке уровень услуг SLA, а также безопасности;
- быстрая активация и выставление счета только за использованные объемы услуг;
- контролируемый бюджет и ускоренный ROI.

Проекты интеграции EDI/B2B контрагентов цепи поставок реализуются с помощью архитектуры **GCI Trade Xpress**. Данная архитектура позволяет обрабатывать проекты интеграции в зависимости от различных подходов: управление документами, интеграция данных, контроль процессов или архитектуры, ориентированной на предоставление услуг.

Система интегрированной поддержки управления цепями поставок — **Generix Supply Chain (GSC)** позволяет оптимизировать логистические операции в цепях поставок и развернуть эффективные стратегии кооперации усилий и сотрудничества в управлении повседневной логистической деятельностью: управление запасами, прием товаров, складское хранение, подготовка заказов, отгрузка, транспортировка и проч. Система GSC включает:

- оперативное управление — Supply Chain Execution (SCE);
- управление потоками внутри и между предприятиями цепи поставок — Supply Chain Monitoring (SCMo);
- сервис SAAS/GCS On Demand.

и, самое главное, согласованный уровень качества предоставления конкретного набора услуг.

Развернутая контурно-модульная структура платформы GSC представлена на рис. 10.

Для адаптации к электронной коммерции, повышения производительности, внедрения кооперации, сотрудничества и повышения отслеживаемости потоков в цепях поставок требуются сверхпроизводительные решения по управлению и исполнению. Именно поэтому GSC предлагает полный комплект профессиональных логистических процессов, сгруппированных в два блока SCE и SCMo.

Схема решения и транзакций между модулями GSC представлена на рис. 11.

Оперативное управление (SCE) дает возможность клиентам повысить производительность и качество логистических операций по управлению складскими запасами, транспортировке, складской грузопереработке и снабжению, а именно:

- сократить складские запасы на 50% по покрытию;
- повысить качество логистических услуг до уровня Fill Rate выше 99%;
- сократить затраты на транспортировку более чем на 10% от годового транспортного бюджета и сроки поставок для всей совокупности потоков: платформы, магазины, электронная коммерция и мультимедийная торговля.

Сервис **SAAS/GCS On Demand** помогает компаниям цепи поставок адаптироваться к изменениям и ограничениям на их рынке (электронная коммерция, минимизация сроков поставок, сезонность, недостаточная возможность отслеживания объемов продаж и др.) и при этом использовать с выгодой имеющийся в их распоряжении логистический инструментарий и минимизировать инвестиции и риски. Независимо от размера предприятия сервис SAAS/On Demand является перспективным решением для компаний, которые хотят иметь гибкий и реактивный инструмент управления инвестициями в логистику и УЦП.

Комплект предложений GCS в режиме On Demand (по запросу) дает следующие выгоды потребителям:

- клиент выбирает профессиональные программные средства, автоматизирующие логистические процессы, которые соответствуют его роду деятельности или различным сегментам рынка;
- клиент конфигурирует логистическое программное приложение в соответствии со своими потребностями;



Рис. 10. Контурно-модульная структура платформы GSC

Источник: Дыбская В. В., Сергеев В. И. Логистика: учебник для бакалавров и магистров: в 2 ч. М.: Юрайт, 2016. Ч. 2. 341 с.

- клиент получает доступ к последним обновлениям, размещенным в Интернете, по простой абонентской подписке;
- клиент платит в зависимости от потребляемых объемов IT-трафика;
- компания Generix Group обязуется на контрактной основе обеспечить максимальную доступность сервиса для клиента; гиперразмеры облачной инфраструктуры SAAS позволяют сопровождать клиента в процессе развития его деятельности без существенных капиталовложений с его стороны.



Рис. 11. Схема решения Generix Supply Chain

Источник: <<https://www.generixgroup.com/ru>>.

Из облачных платформ, используемых для IT-поддержки логистики и УЦП, наибольшую популярность имеют платформы крупнейших системных интеграторов — компаний SAP и Oracle.

SAP Cloud Platform — это открытая платформа как услуга (PaaS), которая предоставляет клиентам и партнерам возможности в оперативной памяти, услуги базовой платформы и уникальные бизнес-сервисы для создания и расширения индивидуальных, совместных, мобильных приложений облачных приложений. Платформа SAP Cloud Platform предназначена для ускорения цифровых преобразований в бизнесе, позволяя контрагентам це-

пей поставок создавать точное приложение, которое нужно быстрее, легко и экономично — все это без необходимости поддерживать или инвестировать средства в локальную инфраструктуру. Основанная на открытых стандартах SAP Cloud Platform предлагает полную гибкость и контроль над выбором облаков, фреймворков и приложений.

Платформа SCM Cloud Oracle включает комплексные, унифицированные бизнес-процессы, которые рассматривают цепь поставок XXI века. Является ли это блочной цепью, интернетом вещей или адаптивным интеллектом. Oracle SCM Cloud позволяет моделировать цифровую цепочку поставок с возможностями, в том числе инновационного дизайна продукта, стратегический поиск поставщиков, аутсорсинговое производство, интегрированную логистику, полномасштабное выполнение и комплексное планирование спроса и предложения, что делает Oracle SCM Cloud самым полным набором функциональностей SCM в облаке. Oracle SCM Cloud позволяет развертывать функциональность постепенно, с минимальным риском, более низкой стоимостью и максимальной гибкостью — все это в сочетании с постоянными функциональными инновациями и более устойчивой цепью поставок.

3.6. Роботы, дроны, беспилотные автомобили, 3D-печать

Роботы в логистике и УЦП

Четвертая промышленная революция ознаменована повсеместным распространением робототехники, которая имеет следующие преимущества:

1. Работники освобождаются от выполнения низкоквалифицированной и опасной работы. Роботы справляются с ней быстрее, точнее и экономичнее.

2. Появляется возможность расширять производство и решать целый ряд проблем, среди которых, к примеру, нехватка специалистов.

3. Робототехника фундаментально изменяет нашу жизнь и способ заработка в целом.

Кроме этого, роботы — более гибкие механизмы, они способны подстраиваться под окружающую среду и обучаться выполнению новых операций.

В число крупнейших производителей промышленной робототехники входят следующие компании: Fanuc, Yaskawa, ABB, Kawasaki, Nachi, Kuka, Denso, Mitsubishi, Epson, Stäubli, Foxconn, Comau, Omron, Adept, Universal Robots.

Согласно ГОСТ Р 60.0.0.2-2016 «Роботы и робототехнические устройства» — **Робот (robot)**: *Исполнительное устройство с двумя или более программируемыми степенями подвижности, обладающее определенным уровнем автономности и способное перемещаться во внешней среде с целью выполнения поставленных задач.*

Робототехническое устройство (robotic device): *Исполнительное устройство, обладающее свойствами промышленного или сервисного робота, но у которого отсутствует требуемое число программируемых степеней подвижности или определенный уровень автономности.*

Указанным стандартом определяются классификация роботов и понятия «промышленного» и «сервисного робота», а также признак автономности, имеющий принципиальное значение в логистике и УЦП: *автономность (autonomy)*: *Способность выполнять поставленные задачи в зависимости от текущего состояния и восприятия окружающей среды без вмешательства человека.*

Среди сервисных роботов есть градация «роботы для логистических систем», хотя в ней и не определяется конкретная номенклатура (подклассификация) таких роботов. Таким образом, можно отнести роботов в логистике и УЦП в основном к категории «сервисных автономных роботов». Возможности интеграции **автономных роботов** существуют на всех этапах создания и функционирования цепи поставок, где повышение эффективности, снижение затрат, более безопасная рабочая среда и более высокий уровень производительности являются приоритетными для инвестиций в робототехнику.

Автономные роботы — это устройства, которые запрограммированы для выполнения задач без вмешательства человека или с небольшим взаимодействием с людьми. Они могут значительно отличаться по размеру, функциональности, мобильности, «ловкости», интеллекту и экономичности автоматизации роботизированного процесса. Автономные роботы могут распознавать, и учиться из их окружения и принимать решения независимо; могут использоваться для повышения скорости и точности выполнения рутинных операций в цепях поставок, особенно в сфере складирования и производства; работать во взаимодействии с людьми

для повышения эффективности, и уменьшая риск травмы сотрудников в опасных условиях.

Традиционно роботы в цепях поставок стали использоваться для выполнения обычных и повторяющихся задач, требующих сложного программирования для настройки и реализации, при этом не хватало гибкости для легкой настройки операций. Как только автономные роботы становятся более интеллектуальными, и время их настройки уменьшается, они требуют меньше надзора и могут работать вместе с людьми.

Сферы применения роботов в логистике и УЦП в разрезе операционной деятельности очень разнообразны. Наибольшее применение они находят в таких функциональных областях логистики, как логистика складирования и логистика производства. Если говорить о складировании и грузопереработке на объектах логистической инфраструктуры (логистических центрах, складах общего пользования, распределительных центрах, подсортировочно-распределительных складах, кросс-докинг терминалах и др.), то робототизированное оборудование, применяемое на них чрезвычайно многообразно: от полностью автоматических и высокомеханизированных складов до роботов, выполняющих отдельные операции складской грузопереработки.

Переход к роботизированным (полностью автоматическим) складам — общемировая тенденция. Это связано с потребностью ускорения логистических процессов на больших складах, где человеческие возможности достигли предела. Управление товарными запасами (и инвентаризация) с помощью роботизированных систем экономически эффективно, исключает ошибки, минимизирует аварии и риски для людей. Сегодня это один из лучших примеров интернета вещей — потенциал такой автоматизации огромен. Markets & Markets Research¹⁷ делает прогноз, что «роботизация» складов в период с 2017 по 2022 год будет идти высокими темпами, демонстрируя среднегодовой рост в 11,8%. К этому времени объем рынка увеличится до 4,44 млрд долл. США

Автоматизированные складские системы (Automated Storage and Retrieval Systems — AS/RS) предусматривают использование управляемых компьютером подъемно-транспортных устройств, которые закладывают изделия на склад и по команде извлекают их оттуда. Автоматизированные складские системы не только исключают

¹⁷ <<https://www.marketresearch.com>>.

ручной труд, но и позволяют экономить складские площади, ускорять складские операции и улучшать контроль за материально-техническими запасами, поскольку компьютер следит за местонахождением каждого изделия на складе. АСС, как правило, используется на складах, где значительные по размерам грузы перемещают из мест хранения с высокой интенсивностью, при этом плотность хранения важна из-за пространственных ограничений.

Среди основных преимуществ автоматизированных складов можно выделить следующие:

- Высокая удельная плотность хранения на единицу складской площади.
- Удобный доступ к любому товару.
- Максимально возможная эффективность использования площади застройки (высота склада до 45 м).
- Существенное снижение ежемесячных эксплуатационных затрат (на единицу хранения) за счет уменьшения численности рабочего персонала во всех зонах склада (сокращение в 1,5–3 раза по сравнению с традиционным складом).
- Отсутствие специального освещения и отопления для персонала в зоне хранения.
- Отсутствие риска повреждения грузов, хищений, ошибок, возникающих по вине персонала.
- Максимально возможная производительность при приемке и отгрузке со склада, что достигается применением автоматизированных линий перемещения, автоматических укладчиков и т.д. (экономия до 70% времени на перемещениях).
- Точность формирования заказов за счет уменьшения персонала в зоне подбора заказов и автоматизации большинства операций по сортировке и подбору заказов.

Сегодня первенство в системах автоматического складирования принадлежит вертикальным складам. Это системы всемирно известных производителей, таких как System Logistics и Modula (Италия), Kardex (Швейцария), Haenel и Vander Lande (Германия), Constructor Group (Финляндия) и др. Все производители предлагают в той или иной мере похожие системы, но имеющие некоторые различия в скорости работы, в числе выдаваемых поддонов, типе механизма-экстрактора или принципе перемещения поддонов. Несмотря на различия, все предлагаемые автоматические склады являются системами вертикального складирования. Основное их предназначение — обеспечивать как можно боль-

шую плотность хранения на единицу занимаемой площади, т.е. эти системы максимально приближаются к технологической высоте склада и всегда «растут» в высоту.

Логистические гиганты, подобные DHL и торговые «киты» вроде Amazon.com и Walmart, давно сделали роботизацию частью стратегии лидерства и активно продвигают свои достижения в этой области. Amazon, например, еще в 2012 году приобрела за 775 млн долл. компанию Kiva — производителя промышленных роботов для отбора и упаковки товаров на складе. По данным Deutsche Bank, использование этих роботов позволило Amazon на 20% снизить операционные расходы, что составляет около 22 млн долл. на один распределительный центр. В настоящее время Kiva используются в 13 таких центрах Amazon, но если проект будет масштабирован на все 110 центров компании, то она сможет достигнуть снижения издержек на 800 млн долл.

За счет чего достигается такая экономия? В первую очередь за счет повышения эффективности складских процессов: с помощью Kiva цикл складских операций для конкретного товара сократился с 60–75 до 15 минут, а пространство складов оптимизировано на 50% за счет более рационального его использования.

В логистике производства также применяется большое количество различных роботов на всех стадиях производственного цикла. Приведем пример лишь одного из перспективных проектов промышленных роботов, используемых для поддержки логистических процессов на производстве.

Проект PAN-Robots¹⁸, в котором задействованы шесть партнеров в пяти странах ЕС (существует благодаря финансированию ЕС в размере 3,33 млн евро) занимается предоставлением инновационных технологий для автоматизации логистики производства на так называемом Заводе будущего (FoF).

PAN-Robots фокусируется на областях основных рабочих операций и имеет системы для 3D-отображения завода, для расширенного восприятия на борту автоматически управляемых транспортных средств, представляя собой современный контрольный центр для мониторинга и инфраструктурные лазерные сканеры для сканирования пространства завода. Наиболее инновационная технология в проекте — это стереокамера с объективом «рыбий глаз», установленная в верхней части робота типа AGV.

¹⁸ <<http://www.pan-robots.eu/>>.

Автоматически управляемая тележка (Automatic guided vehicle — AGV) — тележка с электроприводом, предназначенная для автоматического перемещения грузов внутри завода. AGV снабжена всеми необходимыми системами и элементами безопасности, может эксплуатироваться на вредных или опасных производствах, местах скопления людей и других движущихся AGV. Она использует 3D-изображения, чтобы следить за появлением препятствий на пути движения.

360-градусное поле обзора камеры (3D-восприятие) и лазерные сканеры проверки безопасности (2D-безопасность) гарантируют, что у робота не будет «слепых пятен» и обеспечивают безопасность для людей, которые работают рядом с ним на заводе или складе. Транспортное средство может поворачиваться с полным обзором, останавливаться перед препятствием, возникшим на его пути, или обходить его. Система восприятия может даже «увидеть», что находится за углом, путем взаимодействия с лазерными сканерами на перекрестках.

Дроны

Гражданские беспилотные летательные аппараты (БПЛА — дроны) начали лавинообразно набирать популярность в начале 2010-х годов. Своей массовой популярностью дроны обязаны развитию беспроводных сетей. Другими определяющими факторами стали мощные компьютеры, способные контролировать сложные устройства и появление новых, более совершенных языков программирования. В прогнозе компании Business Insider, опубликованном в 2014 году, рынок гражданских БПЛА в 2020 году оценивался в 1 млрд долл. США, но уже два года спустя эта оценка была повышена до 12 млрд долл. По данным «New York Times», в 2016 году в США было продано 2,8 млн гражданских БПЛА на общую сумму 953 млн долл. Мировой объем продаж составил 9,4 млн аппаратов суммарной стоимостью порядка 3 млрд долл. Аудиторская компания PwC оценивает **рынок БПЛА в 2020 году в 127 млрд долл.** По оценке PwC, большая часть (61%) БПЛА будет использоваться в обслуживании инфраструктурных проектов и в сельском хозяйстве¹⁹. Согласно определению, одобренному Ассамблеей ИКАО:

¹⁹ *Фиговский О., Гумаров В.* Беспилотные транспортные средства: развитие технологий и место в мировом сообществе // ELGA — научно-культурологический журнал. 2018. № 5.

беспилотный летательный аппарат (дрон) представляет собой воздушное судно без пилота..., которое выполняет полет без командира воздушного судна на борту и либо полностью дистанционно управляется из другого места с земли, с борта другого воздушного судна, из космоса, либо запрограммировано и полностью автономно.

В связи с постепенным удешевлением компонентной базы БПЛА, а также выходом на рынок многочисленных новых игроков, в том числе и в военном сегменте, средняя стоимость дронов продолжит снижаться к 2020 году по всем сегментам на 7–27%. Это приведет и к изменению структуры рынка БПЛА (как в денежном, так и в количественном выражении), поскольку на рынок будут поступать сотни тысяч и даже миллионы постоянно дешевеющих потребительских дронов, по функционалу сравнимых уже с коммерческими БПЛА, а на военный рынок выйдут новые игроки (например, из Китая), которые предложат необходимый функционал по более низкой цене, чем у сегодняшних моделей.

Что касается российского рынка БПЛА²⁰, то по итогам 2017 года наша страна занимала 3% в количестве и 2% в стоимости мирового рынка. При этом в сегменте военных БЛА ее долякратно выше (в штуках — 15%). В 2017 году российский рынок БПЛА оценивался в 163 млн долл. (9,5 млрд руб.) и к 2020 году рынок может вырасти в 1,5 раза. По оценке J'son & Partners Consulting, доля дронов отечественного производства на рынке РФ составила в 2017 году 10% и увеличится к 2020 году до 11%. Основной прирост придется на коммерческий сегмент, где ожидается большая активность российских производителей, и он увеличится в 2 раза к текущему уровню. Таким образом, до 40% коммерческих дронов, продаваемых в РФ, будут отечественного производства.

По мнению большинства экспертов, дроны будут еще достаточно длительное время играть вспомогательную роль в мировой логистике. Скорее всего, в ближайшем будущем дроны и традиционные виды транспортных средств будут использоваться совместно.

Рассмотрим несколько характерных примеров использования дронов в логистике. Основными компаниями, производящими дроны для использования в гражданской сфере, в том числе в ло-

²⁰ Беспилотный летательный аппарат — БПЛА (дрон). <<http://www.tadviser.ru/>>.

гистике, являются: DJI, Flytrex, Flirtey, Matternet, Project Wing. **Компании, внедряющие дроны в логистике:** Amazon, Dodo, DHL, UPS и др. В основном их использование касается доставки небольших посылок (весом до 8 кг) на небольшие расстояния, как правило, на участке маршрута, называемом в логистике «последней милей» («lastmile»). Дроны позволяют логистическим службам не только сократить расходы на «последнюю милю» (самую дорогую часть доставки), но и доставлять посылки в труднодоступные места.

Недавно сервис мирового гиганта экспресс-доставки — компании UPS успешно протестировал БПЛА для доставки грузов на последнем километре цепи поставок. В будущем такой способ транспортировки может быть использован для доставки посылок в географически изолированную местность. При этом такая транспортировка потребует меньших человеческих ресурсов и меньших финансовых затрат. В частности, запуск дрона от грузовой машины для завершения сложной доставки может сократить количество дорогостоящих километров. Кроме того, использование дронов с электроприводом намного более безопасно для экологии, нежели использование грузовиков с бензиновым двигателем.

Компания Amazon.com приобрела патент на крупный высоколетный дирижабль, который может быть использован для размещения дронов и последующей доставки товаров клиентам Amazon. Дирижабль, который окрестили «матерью дронов», управляется людьми, но доставка индивидуальных посылок таким способом потребует меньше энергии, чем доступные альтернативы. В частности, патент создает гипотетическую возможность применения «матери дронов» на спортивных стадионах для немедленной доставки еды и напитков зрителям во время матчей.

В Университете города Шербрука в канадской провинции Квебек представили дрон, который в автономном режиме может садиться на вертикальные поверхности — стены зданий, отвесные скалы, стволы деревьев.

Дрон S-MAD (Шербрукский мультимодальный автономный дрон²¹) — это маленький самолет, он летает со скоростью порядка 7–10 м/с и не может, в отличие от квадрокоптера, зависнуть на

²¹ <www.vestnik-glonass.ru/news/corp/avtonomnyy-dron-smozhet-saditsyana-steny/>.

месте. Когда ему надо приземлиться, лазерный датчик обнаруживает препятствие — вертикальную поверхность — и дает команду замедлиться и задрать нос. Аппарат останавливается параллельно стене, снижает скорость и цепляется за стену своим «шасси» — т.е. зацепами из микрофибры, которые как бы прилипают к любой шероховатой поверхности, а специальная подвеска гасит кинетическую энергию от удара. Висеть в пассивном режиме самолетик может бесконечно долго. Эта полезная функция нужна, например, для того чтобы дрон мог подзарядить батареи от солнца или «поработать» неподвижной камерой наблюдения. Опять же, если внезапно закончится зарядка, он прилипнет к ближайшей стене, а не рухнет с высоты на землю. Когда дрон снова будет готов начать движение, его двигатели без проблем оторвут его от стены, к которой он прицепился, после чего аппарат сможет продолжить свой полет.

Логистический оператор — компания DHL — начала работать над доставкой посылок дронами гораздо раньше Amazon. Она даже доставила посылку в фармацевтическую компанию, расположенную на острове в Германии, используя свой parcelcopter (рис. 12). Parcelcopter был представлен публике в мае 2016 года. В рамках тестовых испытаний дрон доставил 130 посылок в различных температурных и климатических условиях.



Рис. 12. Дрон доставляет посылку

Источник: В.И. Сергеев. Логистика и управление цепями поставок — профессия XXI века: аналитический обзор. М.: Изд. дом НИУ ВШЭ, 2019.

В консалтинговой компании McKinsey ожидают, что в будущем дроны и беспилотные автомобили будут доставлять до 80% всех посылок.

Усилия компании Amazon по заданию новых стандартов онлайн-торговли с помощью дронов и попытки перейти от доставки «день-в-день» к доставке «час-в-час» продолжают привлекать внимание всего мира. Однако, не считая онлайн-торговли, есть целый перечень отраслей, которые могут существенно измениться благодаря дронам. На самом деле многие из этих отраслей уже затронуты этой дрон-революцией: например, сельское хозяйство, кинематограф, фотография, проверки различных труднодоступных объектов (крыш, мостов, вышек сотовой связи).

3PL-провайдер Geodis совместно с Delta Drone (международным игроком в области гражданских БПЛА для профессионального использования) разработали полностью автоматическое решение (комплект) для пополнения и инвентаризации складских запасов с использованием беспилотных летательных аппаратов — дронов. Комплект состоит из наземного робота, оснащенного батареей, которая обеспечивает энергию, необходимую для навигации по складу, и позволяет достичь желаемой автономности, а также бесшумного дрона-квадроцикла с четырьмя камерами высокой четкости. Этот комплект, оборудованный внутренней геолокационной технологией, работает автономно в те часы, когда склад закрыт. С точки зрения ИТ, решение позволяет рассчитывать и сообщать данные о товарных остатках в режиме реального времени, а также обрабатывать данные и интегрировать их с информационной системой склада. Тесты, проведенные на начальном этапе разработки, показывают, что надежность инвентаризации товарных запасов близка 100%.

Крупнейший мировой ритейлер — компания Walmart — вообще намерена использовать дроны не в доставке, что сопряжено с регуляторными трудностями, а внутри крупных складов и логистических/распределительных центров: дроны могут перемещаться по пространству склада, делая 30 фотокадров в секунду, и этой информацией можно пользоваться для инвентаризации. Если «вручную» на такой процесс ушло бы около месяца, то с помощью летающих роботов инвентаризировать огромный склад можно за один день.

Беспилотные автомобили

Беспилотный автомобиль (робомобиль) — транспортное средство, оборудованное системой автоматического управления, которое может передвигаться без участия человека.

В современных беспилотных автомобилях используются алгоритмы на основе байесовского метода одновременной локализации и построения карт (simultaneous localization and mapping — SLAM). Суть работы алгоритмов состоит в комбинировании данных с датчиков автомобиля (real-time) и данных карт (offline). SLAM и метод обнаружения и отслеживания движущихся объектов (detection and tracking of moving objects — DATMO) разработаны и применяются в автомобилях дочерней компании Google Waymo.

Экономические преимущества беспилотных автомобилей:

- кардинальная минимизация ДТП и практически полное исключение человеческих жертв (по крайней мере среди пассажиров, находящихся внутри автомобиля), отсюда значительное снижение расходов на страхование и медицину быстрого реагирования;
- снижение стоимости транспортировки грузов и людей за счет экономии на заработной плате и времени отдыха водителей, а также экономии топлива;
- повышение эффективности использования дорог за счет централизованного управления транспортным потоком;
- снижение потребности в индивидуальных автомобилях за счет развития систем типа каршеринга;
- повышение пропускной способности дорог за счет сужения ширины дорожных полос (в более отдаленной перспективе).

Классификация автоматизации автомобилей разработана Сообществом автомобильных инженеров (SAE) и содержит 6 уровней²²:

- **0-й уровень:** отсутствие контроля над машиной, но может присутствовать система уведомлений.
- **1-й уровень:** водитель должен быть готов в любой момент взять управление на себя. Могут присутствовать следующие автоматизированные системы: круиз-контроль (Adaptive Cruise Control — ACC), автоматическая парковочная система

²² Wikipedia.

и система предупреждения о сходе с полосы (Lane Keeping Assistance — LKA) 2-го типа.

- **2-й уровень:** водитель должен реагировать, если система не смогла справиться самостоятельно. Система управляет ускорением, торможением и рулением. Система может быть отключена.

- **3-й уровень:** водитель может не контролировать машину на дорогах с «предсказуемым» движением (например, автобаны), но быть готовым взять управление на себя.

- **4-й уровень:** аналогичен уровню 3, но уже не требует внимания водителя.

- **5-й уровень:** со стороны человека не требуется никаких действий, кроме старта системы и указания пункта назначения.

Автоматизированная система может доехать до любой точки назначения, если это не запрещено законом.

Как работают беспилотные автомобили? Беспилотник делает то же самое, что и человек за рулем, только мозги у него электронные, а вместо глаз он использует набор техники:

- Камеры. Они «смотрят» в разных направлениях. Эту «картинку» анализирует компьютерная программа, чтобы выявить препятствия, людей, машины и другие объекты на проезжей части, ее границы, разметку и даже знаки.

- Стереокамеры. Они определяют расстояние до объектов.

- Радар. Он определяет расстояние до объектов с помощью радиоволн, как на боевых кораблях или самолетах.

- Лидар. Лазерный датчик кругового обзора, который составляет трехмерную карту пространства вокруг машины.

- Датчики. Приемники GPS/ГЛОНАСС, инерциальные измерители и сенсоры, которые показывают, с какими скоростями вращаются колеса, куда они повернуты и т.д.

Все эти приборы собирают информацию воедино, программно-аппаратный комплекс ее обрабатывает и выдает нужные решения: газовать, тормозить, поворачивать и т.д. Идея использования беспилотных автомобилей в логистике не является новой и существует уже достаточно давно. Беспилотные автотранспортные средства (БАС) разрабатываются с 1980-х годов для легковых автомобилей, грузового транспорта, сельскохозяйственных машин и автомобильной техники военного назначения. Ведущие страны, занимающиеся разработкой таких средств, — США, Германия, Япония, Великобритания. Однако в прошлом разработки беспил-

лотных транспортных средств осуществлялись в рамках секретных оборонных заказов государств и поэтому в печати не публиковались.

Самое смешное, что все это — совсем не чудо техники. Многие нынешние серийные машины уже имеют элементы систем самоуправления, например, тот же активный круиз-контроль, автоматически останавливающий машину при появлении препятствия, и систему удерживания в полосе, когда машина сама не выезжает за пределы линий дорожной разметки.

Некоторые из крупнейших корпораций мира — Apple, Google, «Даймлер-Бенц» и многие другие — очень внимательно следят за быстроразвивающимися технологиями, которые могут заменить водителя транспортных средств. В настоящее время проводят эксперименты, выходящие далеко за рамки первоначального этапа тестирования движения грузовика без водителя и совершенствования перспективных технологий, которые могут повысить дорожную безопасность, уменьшить человеческие ошибки и, возможно, облегчат хроническую нехватку водителей в автотранспортной отрасли. Сейчас можно с уверенностью говорить, что развитие технологий в этом направлении значительно опережает современную законодательную базу, что создает значительные неудобства для внедрения современных технологий.

Работающим в исследовательском центре TARDEC (U.S. Army Tank-Automotive Research, Development and Engineering Center) и их коллегам из компании Lockheed Martin удалось создать беспилотные автомобили, способные действовать в составе конвоя. Разработчики продемонстрировали в движении конвой, включающий несколько автомобилей разных моделей.

Демонстрация, проведенная в январе 2018 года на полигоне в Техасе, была частью программы AMAS (Autonomous Mobility Appliqué System), реализуемой американскими военными. Тестом было предусмотрено передвижение тактических транспортных средств в опасной зоне с преодолением препятствий, в число которых вошли перекрестки, участки с круговым движением, стоящие и движущиеся транспортные средства и пешеходы в городских и загородных условиях. По словам разработчиков, тесты показали, что аппаратное и программное обеспечение работает адекватно реальным условиям.

Ключевыми компонентами комплекса беспилотного управления транспортными средствами является лидар (Light Detection

and Ranging — LIDAR) — активная оптическая система, формирующая с помощью анализа данных об отражении и рассеянии света картину окружающего пространства, приемник GPS и управляющие алгоритмы. Как утверждается, «водитель-робот» может быть установлен практически на любом военном транспортном средстве. В данном случае комплексы были установлены на грузовиках M915 и многофункциональных внедорожных автомобилях с погрузочно-разгрузочными устройствами для унифицированных модулей.

Немецкий автопроизводитель Daimler приступил к испытаниям беспилотных грузовых автомобилей на дорогах общего пользования в США. Соответствующее разрешение североамериканское подразделение Daimler Trucks получило от руководства штата Орегон. Как сообщает пресс-служба компании, допуск к проведению опытных тестов беспилотников на дорогах общего пользования был получен после успешного завершения экспериментальных испытаний на полигоне в Мадрасе, штат Орегон.

Отмечается, что в дорожных испытаниях участвуют два грузовых автомобиля модели «Freightliner New Cascadia». Машины передвигаются автоматически в режиме конвоя, в связке между собой, но в формальном присутствии водителей. Связь они поддерживают с помощью сети vehicle-to-vehicle — данная технология повышает безопасность передвижения автономных автомобилей, позволяя им реагировать на изменения дорожной ситуации за 0,2–0,3 секунды, что значительно превосходит скорость реакции водителя-человека. Кроме того, система позволяет грузовикам ехать на минимальном расстоянии друг от друга.

Комментируя начало испытаний на дорогах общего пользования, президент и главный исполнительный директор Daimler Trucks North America Роджер Нильсен отметил, что компания наблюдает интерес со стороны клиентов к технологии автономного конвоя грузовых фур:

Наша технология автономного конвоя обеспечивает большую эффективность и безопасность. При этом она не призвана сейчас полностью заменить водителей, она предназначена лишь для помощи им. Когда мир будет готов к переходу на полностью автономный конвой, Daimler уже будет иметь проверенное решение. Прямо сейчас мы водим Freightliners в режиме конвоя каждый

*день. Я лично также проехал в одном из наших грузовиков в таком режиме — этот опыт впечатляет*²³.

Армия США проведет испытания беспилотных грузовиков в конвоях, которые доставляют продовольствие и боеприпасы в зону боевых действий. Автономные машины позволят снизить человеческие потери и повысить качество снабжения, пишет «Business Insider». Разработкой беспилотного грузовика Expedient Leader-Follower, или ExLF, занимается стартап Robotic Research — компания получила на эти цели трехлетний грант в размере 50 млн долл. Издание уточняет, что фирма разрабатывает только систему автопилота, который позволит военной технике координировать действия в группе. Предполагается, что она будет установлена на грузовики «Oshkosh». Сейчас система уже установлена на десять машин, но их испытания пройдут не раньше 2019 года²⁴.

Ранее испытания колонн беспилотных грузовиков провели в Японии. Первое время в кабине каждого большегруза находился водитель, чтобы среагировать в непредвиденной ситуации. Но к 2020 году автопроизводители обещают довести технологию до совершенства и выпустить на дороги страны полностью автономные колонны.

Издание «Engadget» известило об испытаниях нового электро-мобиля-грузовика Tesla «Semi» в беспилотном режиме. До этого Tesla сообщала только о тестировании «Semi» в городских условиях, однако компания решила успокоить инвесторов, что грузовик уже может обрабатывать данные из длительных поездок. По словам директора Tesla Илона Маска, грузовик уже проехал тысячи километров по дорогам США в беспилотном режиме, и единственной проблемой стала зарядка устройства²⁵.

А что же с беспилотными автомобилями в России? В августе 2018 года транспортная компания Traft совместно с ГК «Автодор» впервые в России протестировала перевозку груза при помощи технологии беспилотного управления грузовым автомобилем на трассе М-11 «Москва — Санкт-Петербург». Traft выступил в качестве первого официального эксплуатанта — тестировщика бес-

²³ <truckandroad.ru/.../daimler-nachal-testy-bespilotnyx-gruzovikov-na-dorogah/>.

²⁴ Новости. В мире логистики. <<https://point.md/>>.

²⁵ <<https://hightech.fm/2018/08/27/SemiTesla/>>.

пилотников в отрасли грузоперевозок. «Автодор» предоставил свою инфраструктуру и помощь по согласованию деталей с Госавтоинспекцией, Минтрансом и другими государственными партнерами. Для тестовой грузоперевозки использовались существующие наработки беспилотных технологий отечественных автопроизводителей и прототипы грузовых беспилотных автомобилей «Камаз» и «Группы ГАЗ». Испытания беспилотников проводятся и в секторе легковых автомобилей и автобусов.

Еще в середине мая 2018 года ЯндексТакси провело испытания беспилотного автомобиля. Сначала на закрытой территории недалеко от их главного офиса в Москве. Испытания показали, что прототипы успешно справляются с задачами. Теперь их хотят опробовать на дорогах общего пользования, и этот этап запланирован на 2018 год. Беспилотные автомобили в России разрабатывает не только Яндекс, сформирована целая ассоциация по развитию автономного, подключенного и электрического транспорта — «Автонет»²⁶. В ней уже пять участников, включая «КАМАЗ», который тоже разработал и испытывает собственные прототипы грузовиков-беспилотников, а также институт НАМИ, спроектировавший беспилотный электробус ШАТЛ.

3D-печать

3D Printing (3D-печать) может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твердого трехмерного объекта. 3D-печать относится к процессам, используемым для создания трехмерного объекта, в котором слои материала формируются под управлением компьютера для создания объекта. Объекты могут иметь практически любую форму или геометрию и обычно печатаются с использованием данных цифровой модели из трехмерной модели или другого электронного источника данных, такого как файл типа Additive Manufacturing File (AMF). Стереолитография (STL) является одним из наиболее распространенных типов файлов, которые могут читать 3D-принтеры. Таким образом, 3D-печать строит трехмерный объект из модели автоматизированного проектирования (САПР) или AMF-файла путем последовательного добавления материала по слоям.

²⁶ <<http://www.nti2035.ru/markets/autonet>>.

По мнению экспертов, традиционная цепь поставок в будущем будет значительно реформатирована в связи с развитием 3D Printing. С появлением небольших и недорогих 3D-принтеров даже в удаленных местах необходимо будет лишь воспользоваться электронной библиотекой проектов, доступной на локальном компьютере, и после этого быстро распечатать деталь. А устаревшие детали можно будет просто отсканировать в 3D и создать заново. Сторонники развития 3D-логистики традиционно выделяют четыре преимущества новой технологии. Во-первых, это увеличение скорости производства и одновременно сокращение издержек. Во-вторых, клиентоориентированность. Потребитель может вносить индивидуальные изменения в тот продукт, который он хочет видеть в итоге. И никакие материальные ресурсы при этом не будут затрачиваться. В-третьих, переход на 3D-печать для компаний будет означать уход от аутсорсинга. Еще одно очевидное преимущество — снижение влияния на окружающую среду.

Приведем несколько примеров влияния 3D-печати на логистику.

В 2017 году один из крупнейших в мире ритейлеров UPS Store представил в США новый сервис — 3D-печать. Оператор разместил на своих станциях специальные принтеры, которыми могли воспользоваться клиенты с целью печати необходимых деталей, которые ранее доставлялись бы обычным способом. 3D-печать еще несколько лет назад воспринималась как развлечение. Сами устройства были достаточно дорогими, а общество точно не знало, как их применять. На инновационных машинах печатали сладости, фигурки людей, затем стали пробовать применять технологию в медицине — печатать протезы. Но в 2011 году профессор Берк Кошевис из Университета Южной Калифорнии изобрел масштабный принтер, на котором была напечатана коробка дома с несущими стенами, коммуникациями и крышей. На это ушло 20 часов.

В Китае быстро взяли на вооружение новую технологию. И за сутки напечатали сразу 10 домов. Промышленный 3D-принтер «Winsun» — китайская разработка — имеет размеры в метрах: 150 × 10 × 6,6 (Д × Ш × В), в качестве «чернил» здесь используются цемент и стекловолокно. Устройство постепенно выливает раствор от земли, слой за слоем создавая стены будущего дома. В результате стоимость такого жилища в 200 кв. м составляет всего 4,8 тыс. долл. Американская компания Kor Ecologic уже предлага-

ет печатать и экологичный автотранспорт. Машина «Urbee 2», состоящая из 50 деталей, созданных на 3D-принтере, способна разогнаться до 112 км/ч, а на одной лишь электротяге может проехать до 64 км. Теперь на таком принтере можно распечатать практически все.

Интернет-магазины уже предлагают новую услугу: выбрав по каталогу определенную вещь, можно получить ее прямо себе домой, минуя традиционную цепь доставки. В глобальной сети появились 3D-магазины. К примеру, сайт <3dlt.com> позволяет мгновенно распечатать различные предметы для интерьера и электронные гаджеты. Согласно представителям UPS, в Америке владельцы малого бизнеса очень заинтересованы в использовании технологии для создания рекламных прототипов. Но традиционные логистические компании опасаются, что если она будет пользоваться большим спросом, они могут понести убытки, как это было с почтовыми сервисами после развития факсов и электронной почты. Уже подсчитано, что, пользуясь новой технологией, потребители могут сэкономить до 2 тыс. долл. в год. Джон Маннерс-Белл, глава Transport Intelligence, и Кен Лион, глава Virtual Partners, считают, что изменяющаяся динамика системы поставок приведет к развитию нового типа логистической компании, напоминающей 4PL-провайдера, но более продвинутой, которая создаст микс из разработки программного обеспечения и управления поставками. Новая компания будет внедрять дизайн-решения, контролировать производство, доставку, а также переработку. В сущности, они станут поставщиками услуг управления жизненным циклом продукта (Product Lifecycle Management). Это большая возможность для крупнейших компаний, таких как, например, та же UPS.

На улицах количество грузовиков, везущих товары потребителям, сократится, следовательно, уменьшатся и выбросы в атмосферу. 3D-печать призвана изменить не только логистику, но и производство. Сегодня компания Airbus использует при строительстве самолетов детали, распечатанные на таком принтере, — запущена печать пластиковых частей в самолетах серии A300/A310, а также в следующем поколении самолетов A350 XWB, кроме того, металлические детали — предкрылок, участок хвостового крыла и дверных петель — также производятся с помощью новой технологии. В результате изготовление легких по весу компонентов позволяет в дальнейшем сокращать расходы при

эксплуатации лайнеров. По словам Питера Сандера из подразделения Airbus Emerging Technologies and Concepts, вес самолета, таким образом, снижается на тонну, а расход сырья при производстве — на 90%. Первые коммерческие рейсы инновационных лайнеров ожидаются в 2016 году, а массовый запуск производства деталей на 3D-принтерах — в 2018-м. В Китае такие самолеты уже прошли испытания. В прошлом году в воздух поднялись истребители, детали которых изготовлены из титана с помощью лазерной 3D-печати²⁷.

Королевские ВВС Великобритании провели аналогичные тесты. А Европейское космическое агентство в 2013-м запустило проект AMAZE, целью которого является печать на 3D-принтере металлических частей для космических кораблей, двигателей самолетов и ракет. Несмотря на оптимизм сторонников 3D-печати, у нее есть существенные недостатки. Самый главный из них — вопрос авторского права. Как и любая электронная технология, схемы для трехмерного принтера могут быть получены компанией нелегальным путем, что приведет к воровству технологий. Этот вопрос сегодня решает шведская компания Formeo, которая запустила стартап, направленный на защиту интеллектуальной собственности в процессе 3D-печати. Подробности пока не раскрываются, однако известно, что безопасная платформа будет запущена только для ритейлеров, и производители бытовой техники уже высказали свою заинтересованность в распространении своих товаров по сетевым магазинам именно таким способом.

Кроме того, существенный недостаток современных принтеров — то, что они не способны печатать слишком сложные детали и пока не любой материал подходит для использования в процессе изготовления. У экспертов также возникают сомнения по поводу полной экологичности таких принтеров. Если производители будут печатать что-либо сложное и масштабное на месте, то в любом случае потребуется транспортировка материалов. Инновационные машины используют много электроэнергии. В Британии были проведены соответствующие исследования, в результате которых выяснилось, что большие 3D-принтеры для плавления пластмассы использовали в 50–100 раз больше электроэнергии, чем стандартное оборудование. Несмотря на эти небольшие недостатки, 3D-печать открывает огромные возможности и для железнодо-

²⁷ <www.rtltd.com/news>.

рожного сектора, где пока вопрос ее применения не изучался. Но можно предположить, что с дальнейшим развитием технологии можно будет организовать печать деталей подвижного состава, инфраструктурных объектов, а также значительно сократить расходы на ремонт.

Ученые из Вуллонгонгского университета, расположенного в Австралии, решили усовершенствовать существующие наработки в этой области и создали технологию 4D-печати. Результаты их изысканий были опубликованы в журнале «*Macromolecular Rapid Communications*»²⁸.

Под 4D-печатью подразумевается использование не только трех измерений для создания реальных объектов, но и фактора времени — четвертого измерения. По замыслу инженеров, если в печатаемые объекты добавить материалы, которые могут реагировать на внешние стимуляторы (например, повышение температуры или влажности), то они будут двигаться и изменяться со временем, подобно человеческим мускулам или мастике в растениях. 4D-принтер печатает заданный объект послойно, так же как и обычный 3D-принтер, однако для печати используется не привычный пластик, а другие материалы. Для опытов австралийские ученые выбрали материал из гидрогеля благодаря его способности изменять свой объем под воздействием внешних факторов.

В ходе экспериментов исследователи создали «умный» вентиль, способный автоматически закрываться, если по нему начинает течь горячая вода. Для его печати ученые впервые использовали обычный принтер с четырьмя разными картриджами и твердые гели в качестве активирующего материала. По мнению авторов исследования, разработанная ими технология имеет широкие перспективы применения и в недалеком будущем может существенно изменить окружающий мир.

В связи с развитием 3D-печати некоторые «горячие головы» уже говорят о том, что логистика не нужна, а цепи поставок попросту исчезнут. Однако они забывают о том, что для работы 3D-принтеров нужны «чернила», т.е. то сырье, материалы, компоненты, из которых будет печататься изделие, а кроме того, доставка самих принтеров, материалов и запасных частей для их ремонта и обслуживания. А куда мы денем возвратные потоки, которые об-

²⁸ <<https://tjournal.ru/54883-4d-printers>>.

разуются при управлении браком, отходами, некондиционными товарами и их утилизации? Все это — области функционирования реверсивной (возвратной) логистики, поэтому говорить о закате логистики просто глупо. Конечно, и операционная логистика и УЦП в определенной степени будут переформатироваться в связи с развитием инновационных цифровых технологий, и на это надо смотреть с открытыми глазами, а не уподобляться указанным в предисловии к этой брошюре лжепророкам.

Список литературы

Богданова А.В., Теренина И.В. Применение технологии дополненной реальности в логистике // Логистика — евразийский мост. 2016. С. 313–318.

Борисов Ю.Г., Курматова А.М. Проблемы развития рынка облачных технологий России // Информационное общество: современное состояние и перспективы развития. 2017. С. 350–352.

Веб-ресурс Supply Chain 247. Why Blockchain is a Game Changer for Supply Chain Management Transparency. 2016 [Электронный ресурс]. <http://www.supplychain247.com/article/why_blockchain_is_a_game_changer_for_the_supply_chain> (accessed: 02.04.2017).

Веб-ресурс Cerasis. What Is Blockchain Technology, and What Is Its Potential Impact on the Supply Chain? 2016 [Электронный ресурс].

Веб-ресурс PwC.com «Shifting patterns: The future of logistics industry», official report. 2016 [Электронный ресурс]. <<http://www.pwc.com/gx/en/industries/transportation-logistics/publications/the-future-of-the-logistics-industry.html>> (accessed: 02.04.2017).

Веб-ресурс Usps.gov Blockchain Technology: Possibilities for the U.S. Postal Service. RARC Report, RARC-WP-16-011, 2016.

Гребнев Е. (ред.). Облачные сервисы. Взгляд из России. М.: CNews, 2011. 282 с.

Грингард С. Интернет вещей. Будущее уже здесь. М.: Альбина паблишер, 2017. 188 с.

Зараменских Е.П., Артемьев И.Е. Интернет вещей. Исследования и область применения. М.: ИНФРА-М, 2017. 188 с.

Зараменских Е.П., Артемьев И.Е. Интернет вещей. Исследования и область применения: монография. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 200 с. <<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=526946>>.

Интеллектуальные навигационно-телекоммуникационные системы управления подвижными объектами с применением технологии облачных вычислений. М.: Горячая линия — Телеком, 2014. 158 с.

Karr H. Великий переход. Революция облачных технологий. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013.

Кучерявый А.Е. Интернет вещей. 2013 [Электронный ресурс] // ELSV.RU: Электросвязь. Сие. требования: Adobe Reader. <<http://www.elsv.ru/files/actual/323.pdf>> (дата обращения: 25.02.2014).

Леонов В. Google Docs, Windows Live и другие облачные технологии. М.: Эксмо, 2012.

Максимов К.В. Принятие решения об использовании облачных сервисов на основе оценки неосязаемых выгод и нормирования капитала. М.: Синергия, 2017. 77 с.

Монахов Д.Н. и др. Облачные технологии. Теория и практика. М.: МАКС Пресс, 2013. 128 с.

Плотко К.О. Облачные технологии в управлении цепями поставок // Логистические системы в глобальной экономике. 2016. № 6. С. 260–262.

Просьянкин С.М., Красникова Д.А. Применение облачных технологий в логистике // Научная мысль. 2016. № 3. С. 53–56.

Риз Д. Облачные вычисления. Санкт-Петербург: БХВ Петербург, 2009. 281 с.

Роуз Д. Будущее вещей. Как сказка и фантастика становятся реальностью. М.: Альпина нон-фикшн, 2015.

Свон М. Блокчейн. Схема новой экономики / пер. с англ. М.: Олимп—Бизнес, 2017.

Эванс Д. (Dave Evans). Интернет вещей: как изменится вся наша жизнь на очередном этапе развития. <<http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/2011/062711d.html><http://stfw.ru/page.php?id=19016>>.

Эйбуд Дж. Интернет вещей: друг или враг? // CISCO.COM: Новости. 2013. <<http://www.cisco.com/web/RU/news/releases/txt/2013/0S/0S1613a.html>> (дата обращения: 25.02.2014).

Abeyratne S.A., Monfared R.P. Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger // International Journal of Research in Engineering and Technology. 2016. No. 5 (9). P. 1–10.

Ayed A.B., Halima M.B., Alimi A.M. Big data analytics for logistics and transportation // Advanced Logistics and Transport (ICALT). 4th International Conference On. IEEE. 2015. P. 311–316.

Chao C.-H. The Framework of Information Processing Network for Supply Chain Innovation in Big Data Era // The 3rd International Workshop on Intelligent Data Analysis and Management. Springer, 2013. P. 77–85.

Engineering Secure Internet of Things Systems / B. Aziz, A. Arenas, B. Crispo (eds). Year, 2016.

Gunasekaran A., Tiwari M., Dubey R., Fosso Wamba S. Big data and predictive analytics applications in supply chain management // Computers & Industrial Engineering. 2016. Vol. 101. <<https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.10.020>>; <<http://cerasis.com/2016/06/29/blockchain-technology/>> (accessed: 02.04.2017)

Internet of Things (IoT). <<http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>>.

Internet of Things News. <<http://www.theinternetofthings.eu/>>.

IoT Overview Handbook. <<http://postscapes.com/internet-of-things-handbook>>.

Jeske M., Grüner M., Wei F. BigData dATA in IN Logistics OGISTICS: A DHL perspective on how to move beyond the hype. DHL Customer Solutions & Innovation. 2013. Vol. 12.

Kambatla K., Kollias G., Kumar V., Grama A. Trends in big data analytics // Journal of Parallel and Distributed Computing. 2014. Vol. 74. P. 2561–2573.

Kim S. Forecasting short-term air passenger demand using big data from search engine queries // Automation in Construction. 2016. Vol. 70. P. 98–108.

La Valle S., Lesser E., Shockley R. et al. Big data, analytics and the path from insights to value // MIT Sloan Management Review. 2011. Vol. 52. P. 21.

Practical Internet of Things Security / B. Russell, D. Van Duren. June. 2016
Securing Cyber-Physical Systems Hardcover by Al-Sakib Khan Pathan, 2015.

Ream J., Chu Y., Schatsky D. Upgrading blockchains: Smart contract use cases in industry // Deloitte University Press. 2016. No. 2 (4). P. 1–11.

RFID and the Internet of Things (Iste) Is ted. by Chabanne, Pascal Urien, Jean-Ferdinand Susini, 2011.

Russom P. Big data analytics // TDWI best practices report, fourth quarter. 2011. Vol. 19. P. 1–34.

Securing the Internet of Things 1st edition — Shancheng Li, Li Da Xu. 2017. January. P. age Count: 154.

Tiwari S., Wee H.M., Daryanto Y. Big data analytics in supply chain management between 2010 and 2016: Insights to industries // Computers & Industrial Engineering. 2018. Vol. 115. P. 319–330.

Varela Rozados I., Tjahjono B. Big Data Analytics in Supply Chain Management: Trends and Related Research. 2014. <<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4935.2563>>.

Wamba S.F., Akter S. Big data analytics for supply chain management: A literature review and research agenda. Presented at the Workshop on Enterprise and Organizational Modeling and Simulation. Springer, 2015. P. 61–72.

Wang G., Gunasekaran A., Ngai E.W., Papadopoulos T. Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications // International Journal of Production Economics. 2016b. Vol. 176. P. 98–110.

Выводы

1. Исследованы возможности использования в логистике и УЦП перспективных цифровых технологий, включая Blockchain (системы распределенного реестра), Cloud Services (облачные сервисы), AR/VR (дополненная/виртуальная реальность), IoT (интернет вещей), Big Data (аналитика больших данных), Predict Analytics.

2. По данным анализа литературы и интернет-ресурсов особое внимание было уделено перспективам использования в логистике и УЦП технологий блокчейн, анализа больших данных, дополненной реальности, в также предиктивной аналитики.

3. Показана необходимость исследования перспектив роботизации складских операций и использования беспилотных транспортных средств (дронов и траков без водителей) при дистрибуции/доставке Final Mile Logistics.

4. Моделирование и реинжиниринг бизнес-процессов в цепях поставок

4.1. Применение мультиагентных технологий для цифровизации логистики и цепей поставок (MASSC)

Высокий уровень сложности цепей поставок и риски, присущие как спросу, так и предложению ресурсов, особенно в периоды экономических спадов, признаются в качестве основных сдерживающих факторов в достижении высоких уровней эффективности цепочек поставок. Использование современных систем поддержки принятия решений в области информационных технологий быстро становится незаменимым инструментом для проектирования и управления сложными сетевыми структурами цепей поставок (ЦП).

ЦП являются сложными адаптивными системами с большим количеством узлов и сложным характером взаимодействий между ее активными элементами и участниками; в условиях изменений, происходящих во внешней среде, усиливается динамика принятия решений по управлению, требующая оперативного, практически в реальном времени, реагирования на нарушения, в условиях возникновения критических ситуаций и событий, а также возникающих конфликтов между различными участниками ЦП. Интеллектуальная система на основе мультиагентных технологий (MAS) позволяет проводить мониторинг критических событий, а также своевременно пересматривать и корректировать планы в ответ на изменение ситуации.

MAS возникли в области искусственного интеллекта и в тех областях изучения сложности систем, связанных с изучением эмерджентных свойств открытых систем, которые состоят из большого числа разнообразных, автономных, активно взаимодействующих элементов, называемых агентами. Сложная система не имеет централизованного управления, и ее поведение определяется активностью и взаимодействием агентов, образующих такую систему.

Многоагентные технологии открывают принципиально новые возможности решения сложных проблем, например, планирования и оптимизации ресурсов, которые плохо решаются или не решаются вовсе классическими методами, путем создания интеллектуальных систем нового класса, использующих фундаментальные принципы самоорганизации и синергетики. Агент — это автономный программный объект, достигающий поставленных целей в условиях неопределенности путем выработки и анализа вариантов принятия решений и согласованного взаимодействия с другими агентами. Многоагентная система (MAS) — система, состоящая из одной или более групп агентов, конкурирующих или сотрудничающих друг с другом с целью выполнения общей задачи таким образом, чтобы увеличить ценность принимаемых решений для всей системы (например, организации в целом). Решение в таких системах находят не на основе аналитических подходов, а путем реализации переговоров и достижения консенсуса между агентами, участвующими в управлении сложной системой. Мультиагентные системы — как технологическая платформа являются интеллектуальной информационной системой. Направление возникло на стыке науки о сложности, искусственного интеллекта, изучающего принципы поведения и взаимодействия активных и интеллектуальных агентов, а также распределенных вычислений в компьютерных науках. Особенности многоагентных систем и их отличия от традиционных информационных систем приведены в табл. 4.

Применение современных систем поддержки принятия решений становится незаменимым инструментом для УЦП. В большинстве случаев наиболее важными и сложными проблемами таких систем являются необходимость быстрого реагирования на частые и плохо предсказуемые события, которые нарушают наши планы, а также нелинейность системы в ответ на эти события, что затрудняет оценку реакции на данные события. Структура многоагентной ЦП также может быть построена в условиях сетевой экономики, где процесс передачи информации и сотрудничество являются двумя ключевыми элементами. Поэтому в рамках современной сетевой экономики и при сложных формах сетевой организации, какими являются ЦП, традиционные подходы для их оптимизации в условиях динамически изменяющейся среды недостаточны. Многоагентные технологии играют важную роль в решении сложных, динамических и децентрализованных задач планирования.

Таблица 4

Сравнение парадигмы традиционных и мультиагентных систем

Традиционные системы	Многоагентные системы
Иерархии больших программ	Большие сети малых агентов
Последовательные вычисления	Параллельные вычисления
Централизованные решения	Распределенные решения
Управляются данными	Управляются знаниями
Инструкции сверху вниз	Переговоры равных сторон
Тенденция уменьшать сложность	Тенденция наращивать сложность
Традиционные системы	Многоагентные системы
Стабильность и детерминизм	Развитие и недетерминизм
Предсказуемость и повторяемость	Самоорганизация и эволюция
Тотальный контроль	Создание условий для развития

Источник: Ржевский Г.А., Скобелев П.О. Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. WIT Press, 2015. 290 с.

Наиболее перспективной областью использования MAS в УЦП является применение их для оперативного мониторинга и оперативно-диспетчерского планирования в реальном времени, соединяя возможности систем планирования (SCP) и управления событиями (SCEM). Таким образом, интеллектуальная компьютерная система на основе MAS, позволяет совмещать аппарат оперативно-диспетчерского планирования ЦП, управления событиями в реальном времени в ЦП и контроля по ключевым показателям эффективности ЦП.

Рассмотрим, в частности, уникальный проект Smart Supply Chain (Multi-agent realtime for ecasting and scheduling solution for lego-supply chain). На основе MAS реализован компанией «Разумные решения»: <<http://www.smartsolutions-123.ru/en>>; <<http://www.kg.ru/solutions/smart-supply-networks/>>. Система предназначена для планирования движения продукции (включая производство, транспорт, хранение) в сетях поставок таким образом, чтобы общая эффективность (прибыль, уровень сервиса и другие показатели) сети была как можно больше, обеспечивая при этом быструю реакцию на все изменения и, как следствие, постоянное наличие актуального плана действий, ориентированного на извлечение максимума из те-

кущей и предполагаемой в будущем ситуации. Внедрение ее в компании Lego демонстрирует сквозное планирование в распределенных гетерогенных сетях, автоматическое оперативное перепланирование на основе событий, а также вовлечение менеджеров в процесс планирования, в информационную прозрачность путем интеграции мультиагентной системы с системами планирования и исполнительными системами, существенное снижение рисков невыполнения заказов в ЦП.

Формирование таких интеллектуальных информационных систем требует серьезного организационного дизайна, связанного со спецификацией правил поведения агентов, протоколов ведения переговоров, онтологического моделирования предметной области УЦП и формирования системы управления знаниями и др., которые требуют привлечения специалистов предметной области УЦП, и в настоящее время еще не сложились методические подходы к построению систем этого класса.

Как показывает анализ, мультиагентные технологии в УЦП позволяют решать проблемы координации, улучшая обмен информацией и знаниями [Wu, 2015]; проводить анализ критических событий в сложных и распределенных сетевых структурах цепей поставок и управление ситуацией, управление рисками; поддерживать информационную прозрачность ЦП в реальном времени; управлять поставщиками, выбирая каналы поставок в сети и поддерживая структурированный обмен информацией и прозрачность между поставщиками и производителями; обмен информацией в сети при управлении запасами [Jirong et al., 2008].

Были исследованы возможности MAS в контексте структуры цепочки поставок в сетевой экономике, особое внимание уделялось развитию отношений и поддержанию отношений с клиентами и поставщиками; предложена основа для разработки многоагентной системы E-SCM для автомобильной отрасли. E-SCM опирается на разработку глобальных поставщиков и систем планирования общих ресурсов с использованием передовых ИТ-технологий, гибкая информационная архитектура на основе MAS обеспечивает поддержку децентрализованных процессов совместной работы и для межорганизационного сотрудничества.

В работе (Zhang, 2018) приведена структура УЦП на основе агентов с возможностью динамической реконфигурации; другой автор (Ivanov, 2010) предлагает применять агентский подход для

анализа адаптивных и мультиструктурных ЦП с целью их реконфигурации.

Использование MAS для сотрудничества в ЦП представлено в исследовании (Chang, 2009); логистическая координация цепей поставок на основе многоагентной системы рассматривается в (Wang, 2000); улучшение координации описано в (Lin, 2011), достижение консенсуса в управлении ЦП приведено в работе (Luo, 2014); сотрудничество и координация всех участников цепочки поставок для управления совместной работой цепочки поставок с применением системы с несколькими агентами, чтобы обеспечить быстрое реагирование на заказы клиентов, изучено (Cheng, 2011); авторы работы [Fu et al., 2016] рассматривают самоадаптивные системы в области «collaborative management in supply chains» на основе MAS, применяемые для улучшения координации и взаимодействия системы с внешней средой, а также для самообучения и самоадаптации в цепочках поставок; авторы (Mortaza Zolfpour-Arokhlo, Ali Selamat, Siti Zaiton Mohd Hashim, 2013) предлагают модели координации на основе многоагентной системы для сети автомобильных перевозок в управлении цепочкой поставок.

Платформа для ведения переговоров в ЦП на основе MAS предложена для имитации сложных переговорных процессов, система MACE-SCM — для облегчения сотрудничества и обмена информацией в условиях высокой неопределенности спроса и предложения.

Децентрализованное планирование в ЦП на основе MAS позволяет решить проблему совместного планирования и достижения альянса. Другие задачи планирования в производственных ЦП также рассмотрены и показано, что на основе MAS формируется среда для совместной работы для устранения конфликтов, возникающих между различными предприятиями, участвующими в совместном планировании ЦП.

Список литературы

- Angerhofer B.J., Angelides M.C.* A model and a performance measurement system for collaborative supply chains // *Decision Support Systems*. 2006. Vol. 42 (1). P. 283–301.
- Arvitrida N.I., Robinson S., Tako A.A.* How do competition and collaboration affect supply chain performance? An agent based modeling approach // *Winter Simulation Conference*. 2015. P. 218–229.

Baratt M. Understanding the meaning of collaboration in the supply chain // *Supply chain management: An International Journal*. 2004. Vol. 9 (1). P. 30–42.

Bhattacharjee S., Cruz J. Economic sustainability of closed loop supply chains: A holistic model for decision and policy analysis // *Decision Support Systems*. 2015. Vol. 77. P. 67–86.

Cash J.I., Konsynski B.R. IS redraws competitive boundaries // *Harvard Business Review*. 1985. Vol. 63 (2). P. 134–142.

Chi L., Holsapple C.W. Understanding computer-mediated interorganizational collaboration: A model and framework // *Journal of Knowledge Management*. 2005. Vol. 9 (1). P. 53–75.

Fu X., Dong M., Liu S., Han G. Trust based decisions in supply chains with an agent // *Decision Support Systems*. 2016. Vol. 82. P. 35–46.

Fugate B., Sahin F., Menzer J.T. Supply chain management coordination mechanisms // *Journal of Business Logistics*. 2006. Vol. 27 (2). P. 129–161.

Geerts G.L., O'Leary D.E. A supply chain of things: The EAGLET ontology for highly visible supply chains // *Decision Support Systems*. 2014. Vol. 63. P. 3–22.

Hahn G.J., Packowski J. A perspective on applications of in-memory analytics in supply chain management // *Decision Support Systems*. 2015. Vol. 76. P. 45–52.

Harper T.J. Agent Based Modeling and Simulation Framework for Supply Chain Risk Management // *Theses and Dissertations, United States, North America*. AFIT Scholar, 2012.

Hernández J.E., Alemany M.M.E., Lario F.C., Poler R. A supply chain agent-based modelling methodology that supports a collaborative planning process. *Innovar: Revista de ciencias administrativas y sociales*. 2009. Vol. 19 (34). P. 99–120.

Jirong W., Jun L., Yunhong Z., Zongwu H. Simulation Study on Influences of Information Sharing to Supply Chain Inventory System Based on Multi-agent System // *Proceedings of IEEE International Conference on Automation and Logistics*. Qingdao, China, 2008. P. 1001–1004.

Kim W.S. Effects of a trust mechanisms on complex adaptive supply networks: an agent-based social simulation study // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2009. Vol. 12 (4). P. 2.

Laurier W., Poels G. Invariant conditions in value system simulation models // *Decision Support Systems*. 2013. Vol. 56. P. 275–287.

Leukel J., Sugumaran V. Formal correctness of supply chain design // *Decision Support Systems*. 2013. Vol. 56. P. 288–299.

Mateena A., Chatterjeeb A.K. Vendor managed inventory for single-vendor multi-retailer supply chains // *Decision Support Systems*. 2015. Vol. 70. P. 31–41.

Melville N., Kraemer K., Gurbaxani V. Information technology and organizational performance: An integrative model of it business value // *MIS Quarterly*. 2004. Vol. 28 (2). P. 283–322.

Min S., Roath A., Daugherty P.J. et al. Supply chain collaboration: What's happening? // *International Journal of Logistics Management*. 2005. Vol. 16 (2). P. 237–256.

Oliveria B.M. A Exploring the experiences of collaborative planning of initiatives // *International Journal of physical distribution and logistics management*. 2001. Vol. 31 (4). P. 266–289.

Ponte B., Costas J., Puche J. et al. Holism versus reductionism in supply chain management: An economic analysis // *Decision Support Systems*. 2016. Vol. 86. P. 83–94.

Santa-Eulalia L.A., Halladjian G., D'Amours S., Frayret J.-M. Integrated methodological frameworks for modeling agent-based advanced supply chain planning systems: A systematic literature review // *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2011. Vol. 4 (4). P. 624–668.

Seidmann A., Jiang Y., Zhang J. Information Issues in Supply Chain and in Service System Design // *Decision Support Systems*. 2012. Vol. 53 (2). P. 267–394.

Seuring S. A review of modeling approaches for sustainable supply chain management // *Decision Support Systems*. 2013. Vol. 54 (4). P. 1513–1520.

Sirivunnabood S., Kumara S. Comparison of Mitigation Strategies for Supplier Risks: A Multi Agent-Based Simulation Approach // *Proceedings of IEEE/INFORMS International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics*. Chicago, IL, 2009. P. 388–393.

Strader T.J., Lin F.R., Shaw M.J. Simulation of order fulfillment in divergent assembly supply chains // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 1998. Vol. 1 (2). P. 1–5.

Tako A.A., Robinson S. The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems*. 2012. Vol. 52 (4). P. 802–815.

Tykhonov D., Jonker C., Meijer S. Agent-Based simulation of the trust and tracing game for supply chains and networks // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2008. Vol. 11 (3). P. 1–30

Wu P.P., Fookes C., Pitchforth J., Mengersen K. A framework for model integration and holistic modelling of socio-technical systems // *Decision Support Systems*. 2015. Vol. 71. P. 14–27.

4.2. Компьютерное моделирование логистических бизнес-процессов и систем в цепях поставок. Дизайн и имитационное моделирование цепей поставок

Современные технологии имитационного моделирования позволяют проводить аудит сложных бизнес-систем и обоснование стратегий, инжиниринг бизнес-систем, дизайн цепей поставок и имеют широкий спектр приложений для совершенствования деятельности организаций, в логистике, риск-менеджменте и многих других, позволяют обосновывать и оценивать последствия принимаемых управленческих решений. Сегодня они во всем мире являются развитым инструментом управленческого консультирования. Однако в России эти управленческие методики недостаточно развиты, мало изучены и практически не применяются на практике бизнесом и в консультационной практике, слабо адаптированы к технике имитационного моделирования, традиционно осваиваемой инженерами и ИТ-специалистами. В настоящее время современные высокотехнологичные решения на основе имитационного моделирования недостаточно используются и без реального понимания и связи со спецификой исследования организационных систем и решения управленческих задач. Разработка и апробация современных управленческих методик с применением современных парадигм и методов имитационного моделирования в области формирования стратегии организации (на основе BSC методологии и др.), дизайна (SCD), анализа (SCA) и планирования цепей поставок (SCP), моделирования и анализа бизнес-процессов и логистических процессов (на основе методологии SCOR, методик функционально-стоимостного анализа (ABC), картирования цепочки добавленной стоимости), анализа и оптимизации производственных и логистических систем на основе теории ограничений Э. Голдратта и др. — необходимое условие достижения системной эффективности бизнеса в условиях стратегического развития, внедрения инноваций и управления изменениями, инструментом, обогащающим управленческую практику деловых решений и управленческое консультирование.

За рубежом активно развивается управленческий консалтинг с применением системной динамики и других методов имитационного моделирования. В США и Великобритании работает более

половины консультантов по системной динамике. Есть они также в Германии, Мексике, Нидерландах, Новой Зеландии, Австралии, Франции, Индии, Индонезии, Иране, Норвегии, Швеции, Швейцарии, Уганде и даже во многих развивающихся странах, работающих по заказам правительства. Как правило, это небольшие группы от 2 до 20 участников в составе консалтинговых организаций.

В сфере инвестиционного и управленческого консалтинга крупнейшие консалтинговые компании, такие как McKinsey & Company, Arthur Andersen, Cooper & Lybrand и др., успешно применяют методологию системной динамики. Основные категории консалтинга: стратегический анализ (40%) и операционный менеджмент (26%), управление проектами (9%), исследования рынка (6%) и др. Коммерческие проекты по обороне составляют, согласно опросам, четверть. Управленческий консалтинг в России с применением системно-динамического моделирования практически не развит. Исключение составляют компания AnyLogic (ИТ-консалтинг для коммерческих предприятий за рубежом совместно с западными партнерами), Центр компетенции в области имитационного моделирования под руководством Н.Н. Лычкиной (<<http://simulation.su/static/sysdynamics-workshop.html>>).

Наиболее широкое применение в управленческой практике получила распространенная техника процессного имитационного моделирования (DES), лидером в бизнес-приложениях этого метода является логистика в функциональных областях логистики, ставшая практикой аудита и инжиниринга логистических систем: производство и цифровые модели производственных систем, складская логистика и логистические центры, приложения по совершенствованию транспортных систем, дизайн и моделирование ЦП и некоторые другие. Однако практика создания имитационных моделей и применения имитационного моделирования для бизнес-приложений осуществляется некорректно, без понимания принципов функционирования и практики управления такими сложными системами, без следования и корректного использования методик анализа и синтеза организационных систем как систем, обладающих существенной структурной и динамической сложностью, в которых действует большое количество факторов неопределенности и риска, возможных сценариев развития и управленческих решений, без адаптации и синтеза методик, применяемых в управленческой и логистической практике с

приемами и возможностями системного компьютерного моделирования.

ABMS (агентно-ориентированное имитационное моделирование) — относительно новая парадигма имитационного моделирования, однако в последнее время появилось большое количество публикаций за рубежом по применению ABMS не только в социальных науках, но и в области поведенческой экономики и исследования поведения экономических агентов на рынке, моделирования ЦП, в сетевом анализе и некоторых других. В отечественной практике нет научных школ и научных групп, за исключением лаборатории по искусственным сообществам в ЦЭМИ под руководством академика В.Л. Макарова, осуществляющих исследования в этой области наук о сложности и компьютерной социологии. Исследований, обобщающих возможности и особенности применения ABMS в прикладных областях менеджмента и организационных науках, недостаточно.

Компания AnyLogic недавно представила новый продукт по дизайну ЦП, однако специалистов, которые корректно и грамотно могли бы применять такие аналитические решения в консультационной практике в России нет, как нет адаптированных управленческих методик в этой области.

Реализация методик, применяемых для поддержки принятия управленческих решений, основана на технике гибридного компьютерного моделирования с сочетанием методов предсказательной и предикативной аналитики, методов исследования операций и математического моделирования, управления знаниями и онтологического моделирования предметной области, когнитивными методами анализа проблем и экспертными оценками, методами оценки и управления рисками (процедуры стресс-тестирования) и нуждается в серьезной научной проработке с целью их применения на практике для решения реальных управленческих задач в различных предметных областях науки об управлении.

Эффективная методика управленческого образования — использование деловых имитационных игр (тренажеров для менеджеров). Визуальная коллаборативная среда имитационной игры позволяет погрузиться в сложную проблемную ситуацию, развивает системное мышление, творческий подход, понимание принципов функционирования сложной логистической системы, организации, побуждает мотивацию участников к обучению, навыки коллективной работы и принятия управленческих решений.

Однако в образовательном процессе для менеджеров чаще практикуется изучение кейсов, чем методики активного обучения с применением деловых игр, отсутствуют прототипы и реальные деловые игры, адаптированные к специфике и современным методикам обучения по дисциплинам на образовательных программах (на практике используются игры, разработанные более 60 лет назад и имеющиеся в свободном доступе). Необходима разработка новых деловых имитационных игр и методик их проведения, адаптированных к специфике обучения по образовательным программам в области менеджмента, создание условий для индустрии деловых имитационных игр в России в бизнес-образовании и образовательных программах менеджмента по различным областям (разработка стратегии бизнеса, управление цепями поставок, производственный менеджмент и др.).

Типология методов моделирования ЦП

Основными методами моделирования ЦП являются *оптимизация, имитационное моделирование, стохастическое моделирование, эвристики* [Шапиро, 2006; Толуев, 2008; Ivanov, 2009]. Авторы [Min, 2002], проводя типологию моделей ЦП, выделяют ИТ-драйвер в классификации моделей, что в целом отражает современные тенденции в использовании широкого спектра информационных систем и инструментальных решений, в том числе предметно-ориентированных, применяемых в практике дизайна и планирования ЦП (e-SCOR, NOM, APS, ERP и др.).

В многочисленной научной литературе по моделированию ЦП [Шапиро, 2006; Толуев, 2008, и др.] рассматриваются различные качественные и количественные методы моделирования SC:

- аналитические методы (СМО, сети Петри, метод Монте-Карло и др., включая методы исследования операций и оптимизации);
- имитационное моделирование (S&M);
- физические экспериментирования;
- эвристики и др.

К сожалению, на практике дилеммой для поиска практических решений по оценке эффективности управленческих решений в УЦП является применение качественных методов принятия решений (деревья решений, морфологический анализ, методы парных сравнений и др.), а не количественных методов, что затрудняет понимание (в силу контринтуитивности СС) функцио-

нирования сложных ЦП и оценку последствий принимаемых управленческих решений.

К логическим, структурно-функциональным методам моделирования можно отнести методологии и инструменты моделирования бизнес-процессов (методология ARIS, универсальный язык моделирования UML), которые, к сожалению, описывают только процессы, а не материальные потоки в логистических системах. Менеджеральные методики и инструментарий моделирования бизнес-процессов относительно хорошо проработаны, предложены онтологии референтных моделей процессов (методология SCOR). В качестве общего фрейма для описания процессов в ЦП можно применять рекомендации SCOR и инструменты моделирования и реинжиниринга бизнес-процессов (BPR). К качественным методам моделирования потоков можно отнести также диаграммы Сэнки и некоторые другие техники.

На практике используется широкий спектр математических моделей, поддерживающих планирование, однако, как правило, только в отдельных функциональных областях логистики на операционном уровне. Предметные исследования ЦП, представленные в основном в журналах из направления OR, включают в том числе задачи оценки надежности ЦП с учетом отдельных риск-факторов [Schmitt, 2012; Carvalho, 2012; Schmitt et al., 2015; Snyder, 2015]. В статье [Ivanov et al., 2014] представлена обобщенная модель анализа устойчивости системы с точки зрения концепции «волнового эффекта» (ripple effect) [Goyal, Giri, 2001], обобщенный подход к учету рисков факторов с учетом особенностей отдельной отрасли рассмотрен в статье [Kleindorfer, 2005], влияние вероятности сбоев на общие издержки системы и подход к размещению объектов логистической инфраструктуры проанализированы в работе [Lim et al., 2013] и др. В процессе изучения надежности ЦП и связанных с ней особенностей функционирования достаточно часто авторы, как показывает анализ работ, используют оптимизационные математические или имитационные модели и их комбинации, что позволяет снизить вычислительную сложность математических моделей. Общая тенденция заключается в следующем: чем в большей степени учитываются динамические показатели сети или же специфические параметры работы системы, тем чаще авторами используется имитационное моделирование. При этом важно отметить, что наиболее существенным преимуществом применения оптимизационных моделей является больший масштаб описываемой системы.

Оптимизация является довольно распространенным на практике методом синтеза структур ЦП, который является эффективным методом проектирования конкретной ЦП. Методы оптимизации для ЦП были очень весомой и важной темой в области исследования операций, и имеют внушительное количество инструментальных решений класса NOM и применений в области стратегического и тактического планирования ЦП, как правило, в конфигурировании сетей поставок.

Проектирование ЦП (SCND) является одной из наиболее важных проблем планирования в УЦП. Всеобъемлющий обзор исследований в области SCND логистических сетей с применением методов оптимизации представлен в работе [Govindan, 2017], акцент сделан на анализе ЦП с учетом неопределенности. Возможности существующих методов оптимизации для анализа ЦП в условиях неопределенности, таких как стохастическое программирование, не учитывающее риск-факторы, оптимизация и нечеткое математическое программирование, исследуются с точки зрения математического моделирования и анализа существующих подходов.

Недостаток использования методов оптимизации — трудность разработки адекватной модели (чувствительность к выбору критериев оптимизации) и вычислительные проблемы, которые ограничивают возможности подробного и точного представления сложности (ограничивается, как правило, сетевой моделью и заданием логистической мощности в ее узлах и каналах), а также учета множественных факторов неопределенности. Кроме того, большинство моделей в этой категории в основном, по своей сути, детерминированы и статичны. Базовой гипотезой является хорошо прогнозируемый и стабильный спрос. Именно фактором времени приходится пренебрегать в общих постановках задач оптимизации ЦП. К тому же те модели, которые учитывают стохастические элементы, очень жесткие. Неустраняемая многокритериальность и противоречивость целей (дилемма: уровень сервиса — логистические издержки и субъективные предпочтения в их выборе), множество возможных сценариев, необходимость учета временных параметров, делают затруднительным решение стратегических задач для такого класса объектов с помощью классических методов оптимизации и инструментов NOM (имеющих привлекательные визуальные интерфейсы, отражающие сетевые конфигурации проектируемых цепей поставок и результаты моделирования для различных параметров и конфигураций ЦП, за-

даваемых проектантами). Хорошо работая на частных задачах в функциональных областях логистики, методы оптимизации ЦП позволяют решать вырожденным образом, в силу ограниченных вычислительных возможностей, задачу конфигурирования сети поставок (по статично задаваемым параметрам) по критериям затрат, т.е. служат инструментом инвестиционного обоснования на изменение конфигурации сети поставок на предварительных этапах. В монографии [Шапиро, 2006] описаны процедуры согласования решений по уровням управления на базе оптимизационных моделей, которые слабо формализованы.

Оптимизация долгое время была традиционным подходом в моделировании ЦП [Там же]. Однако оптимизационные модели статичны и детерминированы, они не позволяют учитывать целый ряд особенностей функционирования ЦП и факторов, действующих в ЦП, они также ограничены в идентификации множественных факторов неопределенности и риска, подлежащих учету в моделях ЦП.

Эти методы хорошо работают в задачах оптимизации и конфигурирования сетевой структуры ЦП, задачах выбора логистических мощностей и размещения объектов логистической инфраструктуры. Однако после того, как получена базовая конфигурация ЦП, необходимо понимание особенностей функционирования ЦП, более детальное описание процессов в ЦП, политик и параметров системы управления запасами, транспортировкой и целого ряда других явлений, связанных с эффективным взаимодействием участников ЦП и феноменов межорганизационной координации и др.

Стохастическое моделирование эффективно в оценке рисков (например, метод Монте-Карло, применяемый для систем с несложной структурой), прогнозировании спроса и некоторых других задачах в УЦП и основано на обработке эмпирических данных. Имитационная модель ЦП позволяет учесть множество факторов стохастической природы, неопределенности и рисков и оценить их влияние на функционирование сложной и динамичной ЦП. Имитационная модель позволяет обнаружить нарушения в нормальном функционировании ЦП и в ее отдельных звеньях, выявляет проблемы, узкие места, возникающие в различных звеньях и процессах ЦП. В имитационную модель могут быть инкапсулированы оценки рисков, полученные с помощью стохастического моделирования. Стресс-тестирование и оценка влияния

множества риск-факторов на функционирование ЦП обычно включается отдельной процедурой в имитационном исследовании многокомпонентной ЦП. Это позволяет проводить оценку функционирования ЦП с учетом множества факторов риска, оценивая последствия их влияния на свойства всей ЦП.

Аналитические методы теории массового обслуживания ограничены в описании реальных явлений в сложных ЦП. Стохастические методы моделирования и метод Монте-Карло применяются в получении оценочных характеристик временных параметров отдельных операций, а также в оценке рисков для систем с несложной и статичной структурой. В развивающихся системах необходимо оценивать не только риски, но и цену ошибки (в том числе с учетом риск-факторов) в случае реализации того или иного управленческого сценария.

Физическое экспериментирование в работах по проектированию, в том числе будущего (развития ЦП), исключает работу с ретроспективными данными и статистическими методиками прогнозирования в долгосрочном аспекте, в стратегическом планировании исключено по понятным причинам (прошлое не предсказывает будущее в условиях турбулентных и слабо предсказуемых изменений внешней среды).

Эвристический подход, слабоформализованное опытное знание в предметной области логистики и УЦП исключительно полезно при постановке задач моделирования, подготовке возможных сценариев развития ЦП, а также анализе моделируемых ЦП и результатов экспериментального исследования по основным показателям эффективности ЦП с применением методов имитационного моделирования. Имитационная модель ЦП создается на основе адаптированной для рассмотрения конкретной ситуации и проблемы ментальной модели менеджера, определяемой слабоформализованным знанием предметной области УЦП и того, как должна быть организована цепь поставок. Имитационное моделирование — экспериментальный метод исследования сложной логистической системы, поэтому общим подходом в получении эффективных вариантов организации ЦП служит использование сценарного подхода, основанного на опыте и интуиции специалиста в области УЦП, подготовке и апробации возможных сценариев развития, совершенствования ЦП, а не формировании готового оптимального решения. Суть его состоит в аудите существующей ЦП, проверке полученного варианта конфигурации сетевой структуры ЦП с помощью имитационной

модели, которая позволяет детализировать логистические процессы в ЦП и проверить, что будет, если на практике будут применяться те или иные стратегии, сценарии и политики.

В настоящее время систематизация инструментальных решений в области моделирования и планирования ЦП отсутствует, поэтому будем рассматривать основные современные инструментальные решения, связанные с применением технологий имитационного моделирования ЦП.

Чтобы преодолеть недостатки традиционных аналитических методов в моделировании и анализе цепочки поставок, *имитационное моделирование* широко применяется в качестве инструмента принятия решений для анализа и оптимизации ЦП [Min, Zhou, 2002]. Имитационная модель отражает динамичность и стохастичность сети ЦП и используется для наблюдения и понимания всей работы сети и выполнения анализа «что, если» для различных сценариев. Имитационное моделирование поднимает моделирование ЦП на качественно новый уровень исследования, имеет широкий спектр возможностей по сравнению с аналитическими и другими методами моделирования, позволяет синтезировать различные подходы и методики, обеспечивая адекватное описание сложных и динамичных ЦП в условиях действия множества внешних и внутренних факторов различной природы. Имитационное моделирование применяется в тех случаях, когда невозможно построить математическую модель, адекватно отражающую функционирование сложной и динамичной ЦП, или создать такую математическую модель, что ведет к вычислительным проблемам и ее сложности. Моделирование становится единственно возможным методом при проектировании и стратегическом планировании ЦП, когда отсутствуют данные о реальной системе и невозможен процесс экспериментирования с реальной системой. Оценка и аудит существующей логистической системы можно проводить с помощью компьютерной модели без остановки реальной системы, виртуальное прототипирование и отработку множества ситуаций и возможных сценариев по УЦП — с помощью «компьютерного экстрасенса» в безрисковой среде, что позволяет оценивать последствия реализации предложенных управленческих решений по совершенствованию управления и организации ЦП.

Значительное число компаний уже сегодня успешно вводят имитационные модели в логистическую практику, аудит и управление ЦП:

- обеспечивает комплексное понимание процессов функционирования и характеристик ЦП с помощью диаграмм, графиков и развитой анимации, позволяет проводить аудит ЦП и выявлять проблемы в логистической системе;
- возможность учитывать стохастическую природу и динамику многих факторов внешней и внутренней среды; исследовать влияние различных факторов неопределенности, случайных событий и рисков и выявлять их воздействие на ЦП;
- возможность воспроизводить динамику ЦП, исследовать состояние и движение материальных потоков, отражать динамический характер ключевых бизнес-процессов, поведенческие аспекты, сложные паттерны функции спроса, обилие временных и причинно-следственных связей;
- применение многошаговой процедуры проектирования позволяет учитывать сложность принятия решений, большое количество решающих правил и критериев, включая оценку времени логистического цикла, уровня сервиса и других показателей эффективности функционирования ЦП, а также проведение расширенного экономического анализа;
- в большинстве случаев в распоряжении лица, принимающего решения, в ЦП имеется несколько альтернатив (сценариев); моделирование обеспечивает минимизацию рисков изменения плана путем предварительного анализа и моделирования возможных сценариев развития ситуации в ЦП. Имитационное моделирование позволяет проигрывать (проводить анализ) множества управленческих решений и сценариев, что позволяет понять, как отдельные управленческие решения по трансформации ЦП и политики отражаются на ее функционировании в целом и основных КРІ;
- имитационная модель ЦП может быть выполнена с различным уровнем детализации, что позволяет с помощью такой модели согласовывать стратегические, тактические и операционные решения.

Наиболее часто на практике с помощью имитационной модели решаются следующие задачи УЦП:

- диагностика существующей ЦП;
- определение областей (узких мест), ограничивающих эффективность ЦП;
- определение надежности и устойчивости цепи на случаи резкого увеличения спроса или возникновения сбоев в работе контрагентов;

- оценка предполагаемых конфигураций ЦП (проектирование сетевой структуры), моделирование логистических процессов и выполнение проектов реинжиниринга;
- анализ сценариев «что, если» и выбор наилучших политик и параметров УЦП;
- анализ рисков и оценка последствия воздействия риск-факторов в УЦП;
- обоснование инвестиций в развитие логистической инфраструктуры в ЦП; и др.

Комплексное стратегическое моделирование сетевой структуры, взаимосвязанных материальных, финансовых и информационных потоков, ключевых бизнес-процессов и взаимодействий контрагентов ЦП позволят определять стратегию функционирования и развития ЦП в долгосрочном периоде.

Интегральная парадигма УЦП и совершенствование методов анализа и синтеза ЦП требуют применения современных компьютерных методов принятия решений и имитационного моделирования в УЦП.

*Парадигмы имитационного моделирования
и их возможности в анализе динамических цепей поставок*

Наиболее популярные *парадигмы имитационного моделирования*, широко применяющиеся в исследовании и моделировании ЦП, — дискретное или процессно-ориентированный подход (DES), системная динамика (SD), агентное моделирование (ABMS).

Выбор соответствующей парадигмы имитационного моделирования (ИМ) — важный шаг в процессе разработки модели ЦП, он ограничивает области их применения в части описания структуры, динамики процессов и потоков, процессов развития и решения конкретных задач стратегического плана. ABMS-, DES- и SD-парадигмы принимают принципиально различные точки зрения при моделировании структуры и динамики ЦП для различных представлений. Каждая парадигма ИМ характеризуется набором основных допущений и некоторых базовых понятий для описания моделируемых явлений и процессов в ЦП. Эти предположения на самом деле ограничивают возможности концептуальной модели для исследуемой логистической системы. Чтобы понять описательные возможности различных парадигм имитационного моделирования в идентификации основных объектов,

структур, процессов, динамических аспектов, функций координации при решении задач стратегического плана в УЦП, приведем краткую характеристику методов и их сравнительный анализ.

В ряде работ проведен сравнительный анализ по применимости различных парадигм ИМ в исследовании ЦП. Состояние и перспективы имитационного моделирования цепей поставок анализируются в обзоре [Oliveira, Lima, Montevechi, 2016], в котором показано наиболее частое применение монометодов (DES, SD, ABMS) в научных публикациях и отмечены перспективы применения гибридного имитационного моделирования. К аналогичным выводам приходят авторы работы, которые исследуют применение различных методов имитационного моделирования к описанию базовых процессов ЦП на основе SCOR-рекомендаций, отмечая фрагментарность известных моделей, так как исследованию более одного процесса в ЦП посвящено незначительное количество работ.

В исследовании авторы отмечают, что количество работ по моделированию ЦП значительно возросло за последние 20 лет и продолжает расти. Из 569 статей, проанализированных авторами, в 27% публикаций применяли прикладной DES-подход, в 25% (прикладного характера) — ABMS-моделирование, в 19% — SD, в 15% — таблицу для моделирования, в 9% (прикладного характера) — гибридное моделирование, а в остальных 5% использовали деловые игры. В основу классификации работ положены рекомендации Комитета по SCOR-моделированию¹. Большая часть работ (50%) по моделированию ЦП посвящена процессу планирования, 18% работ — процессу производства. Исследованию более одного процесса в ЦП посвящено незначительное количество работ (мее 10%).

Согласно обзору, приведенному в работе, применение имитационного моделирования в анализе различных процессов в ЦП рассматривается на основе классификации процессов по SCOR-рекомендациям. Косвенно, по результатам проведенного авторами исследования, становится ясно, что модельных исследований ЦП, в которых описывались бы все процессы в ЦП (согласно референтной модели процессов SCOR) практически не обнаружено. Однако, как показывает детальный анализ проведенного авторами исследования, работ, посвященных комплексному описанию

¹ <<http://www.apics.org/about/overview/about-apics-scc>>.

всех процессов (согласно SCOR-рекомендациям) в ЦП незначительное число, и это убеждает в том, что инструментарий ИМ продолжает использоваться, скорее, в области совершенствования, реинжиниринга отдельных процессов в ЦП, чем комплексного анализа синергетического эффекта в функционировании ЦП.

Авторы работы (Tako, Robinson, 2012) исследовали применение дискретно-событийного моделирования и системной динамики в качестве систем поддержки принятия решений в области логистики и УЦП с учетом характера решаемых задач и уровня управления. Авторы проанализировали 127 статей для определения частоты, с которой два подхода моделирования используются в качестве инструментов моделирования. Их выводы свидетельствуют о том, что дискретно-событийное моделирование используется чаще для моделирования ЦП, за исключением «эффекта хлыста», который в основном моделируется с помощью системной динамики. Исследователи разделили вопросы в сфере логистики и УЦП на четыре группы: домен дискретно-событийного моделирования, домен системной динамики, общий домен и домен с непопулярной тематикой исследований. Общий домен включает такие вопросы, как интеграция ЦП, обмен информацией, производительность системы, планирование/управление запасами, планирование и прогнозирование спроса, планирование производства и составление расписания. Домен дискретно-событийного моделирования охватывает такие вопросы, как структура ЦП, политика управления пополнением запасов, оптимизация ЦП, распределение и планирование транспортировки. Домен системной динамики включает изучение «эффекта хлыста». Менее часто дискретно-событийное моделирование и системная динамика применяются в решении вопросов, касающихся процесса модернизации, выбора поставщиков, планирования услуг, возвратной логистики, снижения издержек, правил диспетчеризации, ценовой политики, политики возврата, глобальных цепей поставок. В частности, авторами показано, что SD лидирует в решении задач анализа «эффекта хлыста» с одинаковой с DES частотой применений в исследовании информационного обмена, возвратных потоков. DES намного чаще, чем SD используют на практике в исследовании структуры ЦП и задач тактического и операционного уровня. Общий вывод авторов состоит в том, что и DES, и SD одинаково активно могут применяться в решении задач стратегического планирования в ЦП, правда не уточняется каких.

Автор работы [Behdani, 2012] оценивает парадигмы для моделирования ЦП как сложные социально-технические системы. На микроуровне автор выделяет такие системные свойства цепочек поставок, как многочисленность и неоднородность, локальные взаимодействия, вложенность, адаптивность. На макроуровне ЦП обладают такими свойствами, как появление, самоорганизация, коэволюция, зависимость от пути. Автор приходит к выводу, что агентное моделирование охватывает эти свойства цепей поставок больше всего.

Чтобы понять причины и описательные возможности различных парадигм имитационного моделирования в идентификации основных объектов, структур, процессов, динамических аспектов, функций координации при решении задач стратегического плана, приведем краткую характеристику методов и их сравнительный анализ.

Дискретное имитационное моделирование (DES) сегодня стало практической технологией логистического аудита и инжиниринга (называемые в зарубежной практике *material flows models*) [Толуев, 2008; Reveillac, 2017], многочисленные примеры применения дискретно-событийного имитационного моделирования в задачах управления ЦП представлены в научных журналах [Cigolini et al., 2014; Cooper et al., 2014; Oliveira et al., 2016] и на ежегодной Международной конференции по имитационному моделированию, где традиционно работает секция по имитационному моделированию ЦП (<<https://informs-sim.org/>>). Моделирование на основе дискретных событий, с его сильными, реалистичными возможностями моделирования и анализа, является предпочтительным основным методом для исследования цепочки поставок и целого ряда предметных исследований [Windisch, 2014; Cannella, 2015; Cui, 2015; Mohd, 2017].

Дискретная имитационная модель обстоятельно отображает сетевую структуру ЦП и перемещение динамических объектов (единиц материального потока, груза, транспортных средств) по сети дает возможность измерять время, стоимость ключевых бизнес-процессов, проводить анализ узких мест. Такой способ представления ЦП в дискретной имитационной модели позволяет подробно описывать конфигурации и топологию ЦП, с детализацией характеристик и правил выполнения отдельных бизнес-процессов в узлах сети, что исключительно полезно в условиях проектирования оптимальной топологии и конфигурации ЦП и уточнения

отдельных проектных решений, связанных с выбором стратегии ЦП, конфигурации ее сетевой структуры, решением задач размещения объектов логистической инфраструктуры, решений по определению потребностей в логистических мощностях, политик управления закупками, запасами, вариантов операционной логистической деятельности и многих других в контексте комплексного решения по формированию и оптимизации стратегической и тактической деятельности в ЦП.

Общая методология построения концептуальных моделей ЦП опирается на процессный подход к декомпозиции ЦП и включает следующие описания и этапы формирования имитационной модели, в которой задаются следующие параметры:

- Сетевая структура логистической системы. Структура входных и выходных материальных потоков.
- Описание пространственной структуры системы с привязкой к карте территории. Расположение мест промежуточного хранения и перевалки грузов.
- Описание материальных потоков или структуры динамических логистических объектов, перемещаемых и хранимых в системе (модели ассортимента и количества грузов в потоках, модели пространственной вложенности грузов), объемно-временные характеристики материальных потоков, правила обработки грузопотоков, модели объединения и разъединения материальных потоков в узлах сети.
- Детальные процессы на основе SCOR-модели. Алгоритмы, временные характеристики и стоимость выполнения операций в узлах сети. Логистические процессы являются асинхронными и задаются в модели ЦП как описание параллельных и взаимосвязанных процессов.
- Описание стратегий УЦП. Политики контроля и управления запасами, относящиеся к узлам сетевой структуры ЦП.
- Характеристики транспортных каналов (участники процесса перевозки, вид транспорта, маршруты, тарифы и др.). Политики и параметры транспортировки.
- Задание прогнозных характеристик спроса.
- Формирование выходных характеристик и показателей эффективности моделируемой логистической системы.

Однако, являясь хорошо известным для сферы логистики, метод DES имеет целый ряд ограничений в анализе процессов устойчивости, а также поведенческих аспектов, решений по управле-

нию взаимоотношениями с поставщиками и потребителями, процессов самоорганизации в сетевых структурах ЦП. Динамические сущности процессной модели являются пассивными сущностями, перемещающимися в жестко заданной структуре (сети), описывают такие элементы логистической инфраструктуры, как объекты транспортно-складской инфраструктуры, грузопотоки, ресурсы, и не могут воспроизводить активность агентов ЦП [Douligeris, Tilirakis, 2006], описывать процессы межорганизационной координации и сотрудничества. Большинство исследователей относят задачу конфигурирования сети поставок к стратегическому уровню, однако воспроизведение динамики развития, моделирование изменений в сетевой структуре и ее реконфигурирование по ходу моделирования с помощью DES сложно реализуемо.

Основные преимущества и возможности DES в моделировании ЦП:

- описание сложных топологий и сетевых структур, с привязкой к карте;
- учет индивидуальных характеристик (поставщики, региональный спрос, ассортимент продукции и др.);
- применение методики Activity Based Costing — функционально-стоимостного анализа с привязкой к временным параметрам моделируемых бизнес-процессов;
- описание асинхронных логистических процессов (существуют инструментальные решения по сопряжению DES и методологий и инструментов BPR), измерение временных параметров логистических процессов, задание динамически изменяемых маршрутов транспортировки;
- анализ узких мест в узлах сети, синхронизация процессов;
- удобное описание и выбор стратегий управления материальными потоками (тянущая, толкающая);
- учет множества стохастических факторов (спрос, надежность, сбои в поставках и др.);
- детальные алгоритмы, описывающие правила обработки грузопотока, диспетчеризации и др.

Таким образом, DES лучше всего служит описаниям сетевых конфигураций и основных процессов в ЦП на основе процессного подхода к декомпозиции ЦП. В такую модель ЦП легко инкапсулируются стратегии и политики управления запасами в эшелонированной ЦП, характеристики и политики управления

материальными потоками, политики и параметры системы транспортировки. На практике DES применяется и лидирует как в задачах стратегического плана по конфигурированию ЦП (SCS), проектах моделирования и реинжиниринга логистических процессов (BPR), так и в задачах тактического и операционного уровня.

Анализ литературных источников и интернет-ресурсов (приведенных в конце раздела) по применению компьютерного моделирования в логистике и УЦП показал:

1. Необходимо развитие теоретических и прикладных исследований в области методов компьютерного моделирования логистических систем и их интеграции с другими интеллектуальными технологиями поддержки принятия управленческих решений.

2. Требуется совершенствование методик, применяемых для поддержки принятия управленческих решений в логистике и УЦП, основанных на технике гибридного компьютерного моделирования, с сочетанием методов предсказательной и предикативной аналитики, методов исследования операций и математического моделирования, управления знаниями и онтологического моделирования предметной области, когнитивными методами анализа проблем и экспертными оценками, методами оценки и управления рисками (процедуры стресс-тестирования) и другими интеллектуальными цифровыми технологиями.

3. Требуется развитие методологии, базовых методов и компьютерного инструментария дизайна, анализа и синтеза цепей поставок и оптимизации логистических процессов в цепях поставок, позволяющих осуществлять решение множества задач научно-исследовательского и прикладного характера в области интегрированной логистики и УЦП, в том числе проектирование сетевой структуры цепей поставок, экспертиза размещения производственных и логистических мощностей, моделирование и реинжиниринг логистических процессов в цепях поставок на основе техники и методологии e-SCOR-моделирования, управление запасами в эшелонированных цепях поставок; модельное исследование межорганизационной координации в ЦП, оценка логистических рисков в цепях поставок, аудит решений по УЦП.

Список литературы

- Сергеев В.И.* Управление цепями поставок. М.: Юрайт, 2014.
- Толуев Ю.И.* Имитационное моделирование логистических сетей // Логистика и управление цепями поставок. 2008. № 2. С. 53–63.
- Толуев Ю.И.* Имитационное моделирование логистических сетей // Логистика и управление цепями поставок. 2008. № 2/25. С. 53–63.
- Шаниро Дж.* Моделирование цепи поставок / пер. с англ. В.С. Лукинского. Санкт-Петербург: Питер, 2006.
- Alfonso-Lizarazo E.H., Montoya-Torres J.R., Gutiérrez-Franco E.* Modeling reverse logistics process in the agro-industrial sector: The case of the palm oil supply chain // Applied Mathematical Modelling. 2013. Vol. 37 (23). P. 9652–9664.
- Amorim P., Meyr H., Almeder C., Almada-Lobo B.* Managing perishability in production-distribution planning: A discussion and review // Flexible Services and Manufacturing Journal. 2013. September. Vol. 25 (3). P. 389–413.
- Atan Z., Rousseau M.* Inventory optimization for perishables subject to supply disruptions // Optimization Letters. 2016. January. Vol. 10. Iss. 1. P. 89–108.
- Atan Z., Snyder L.V.* Disruptions in One-Warehouse Multiple-Retailer Systems. 2012b. November 5. Available at SSRN: <<http://ssrn.com/abstract=2171214>>.
- Atan Z., Snyder L.V.* EOQ Models with Supply Disruptions, Handbook of EOQ Inventory Problems. 2013. Vol. 197. P. 43–55.
- Atan Z., Snyder L.V.* Inventory Strategies to Manage Supply Disruptions, Supply Chain Disruptions. 2012a. P. 115–139.
- Bakker M., Riezebos J., Teunter R.H.* Review of inventory systems with deterioration since 2001 // European Journal of Operational Research. 2012. September 1. Vol. 221. Iss. 2. P. 275–284.
- Barroso A.P., Machado V.H., Carvalho H., Cruz Machado V.* Quantifying the Supply Chain Resilience Applications of Contemporary Management Approaches in Supply Chains. 2015. Chapter 2.
- Behdani B.* Evaluation of Paradigms for Modeling Supply Chains as Complex Socio-Technical Systems // Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference. 2012. P. 3794–3808.
- Blome C., Schoenherr T., Eckstein D.* The impact of knowledge transfer and complexity on supply chain flexibility: A knowledge-based view // Int. Journal Prod. Econ. 2014. P. 307–316.
- Bruzzzone A.G., Tremori A., Massei M., Tarone F.* Modeling Green Logistics. 2009 Third Asia International Conference on Modelling & Simulation. 2009.

Cannella S. Lopez-Campos M., Dominguez R. et al. A simulation model of a coordinated decentralized supply chain // *International Transactions in Operational Research*. 2015. Jul. Vol. 22. Iss. 4. P. 735–756.

Carvalho H., Azevedo S.G., Cruz-Machado V. Agile and resilient approaches to supply chain management: Influence on performance and competitiveness // *Logistics Research*. 2012. March. Vol. 4 (1–2). P. 49–62.

Carvalho H., Barroso A.P., Machado V.H. et al. Supply chain redesign for resilience using simulation // *Computers & Industrial Engineering*. 2012. Vol. 62. P. 329–34.1

Castilho J.A., Lang T.E., Peterson D.K., Volovoi V. Quantifying Variability Impacts upon Supply Chain Performance // *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*. 2015. P. 1892–1903.

Cerchione R., Esposito E. A systematic review of supply chain knowledge management research: State of the art and research opportunities // *International Journal of Production Economics*. 2016. December. Vol. 182. P. 276–292.

Chatfield D.C., Harrison T.P., Hayya J.C. XML-based supply chain simulation modeling // *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference (WSC)*. 2004. Vol. 2. P. 1485–1493.

Cheng J.H., Fu Y.C. Inter-organizational relationships and knowledge sharing through the relationship and institutional orientations in supply chains // *International Journal of Inf. Management*. 2013. Vol. 33. P. 473–484.

Cheung M., Myers M.B. Managing knowledge sharing networks in global supply chain // *Int. Journal Management Decis. Mak.* 2008. Vol. 9. P. 581–599.

Chopra S., Sodhi M.S. Managing Risk to avoid Supply-Chain Breakdown // *MIT Sloan Management Review*. 2004. Vol. 200. No. 446 (1). P. 53–61.

Christopher M., Peck H. Building the Resilient Supply Chain // *The International Journal of Logistics Management*. 2004. Vol. 15. P. 1–14.

Cigolini R., Pero M., Rossi T., Sianesi A. Linking supply chain configuration to supply chain performance: A discrete event simulation model Simulation Modelling Practice and Theory. 2014. January 1. Vol. 40. P. 1–11.

Cooper K., Tew J., Wikum E. Evaluating Cost-to-Serve of a Retail Supply Chain // *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*. 2014. P. 1955–1964.

Cui Y., Shi J., Wang Z. Discrete Event Logistics Systems (DELS) simulation modeling incorporating two-step Remaining Useful Life (RUL) estimation // *Computers in Industry*. 2015. Vol. 72. P. 68–81.

Datta P.P., Christopher M., Allen P. Agent-based Modelling of Complex Production/Distribution Systems to Improve Resilience // *International Journal of Logistics: Research and Applications*. 2007. Vol. 10 (3). P. 187–203.

De Vries E.J., Brijder H.G. Knowledge management in hybrid supply channels: a case study // *Int. Journal Technol. Manag.* 2000. Vol. 20 (5–8). P. 569–587.

Desouza K.C., Chattarai A., Kraft G. Supply chain perspective to knowledge management: Research propositions // *Journal of Knowledge Management.* 2003. Vol. 7. P. 129–138.

Desouza K.C., Chattarai A., Kraft G. Supply chain perspective to knowledge management: Research propositions // *Journal of Knowledge Management.* 2003. Vol. 7. P. 129–138.

Dolgui A., Prodhon C. Supply Planning Under Uncertainties in MRP Environments: A State of the Art // *Annual Reviews in Control.* 2007. Vol. 31 (2). P. 269–279.

Douligeris C., Tilipakis N. A knowledge management paradigm in the supply chain // *Eur. Journal Bus.* 2006. Vol. 1. P. 66–83.

Douligeris C., Tilipakis N. A knowledge management paradigm in the supply chain // *Eur. Journal Bus.* 2006. Vol. 1. P. 66–83.

Dyer J.H., Nobeoka K. Creating and managing a high-performance knowledge-sharing network: The Toyota case *Strateg. Manag. J.* 2000. Vol. 21 (3). P. 345–367.

Elia V., Gnoni M.G., Tornese F. Improving logistic efficiency of WEEE collection through dynamic scheduling using simulation modeling // *Waste Management.* 2017. Vol. 72. P. 78–86.

Entrup L., Gunther M., Van Beek H.-O., Grunow P., Seiler M. Mixed-Integer Linear Programming approaches to shelf-life integrated planning and scheduling in yoghurt production // *International Journal of Production Research.* 2005. Vol. 43 (23). P. 5071–5100.

Esper T.L., Ellinger A.E., Stank T.P. et al. Demand and supply integration: a conceptual framework of value creation through knowledge management // *Journal Acad. Mark. Sci.* 2010. Vol. 38 (1). P. 5–18.

Fletcher L., Polychronakis Y.E. Capturing knowledge management in the supply chain // *Eur. Journal Bus.* 2007. Vol. 2. P. 191–207.

Frohling M., Schwaderer F., Bartusch H., Rentz O. Integrated planning of transportation and recycling for multiple plants based on process simulation // *Eur. Journal Oper. Res.* 2010. Vol. 207 (2). P. 958–970.

Govindan K., Fattahi M., Keyvanshokoh E. Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions // *European Journal of Operational Research.* 2017. Vol. 263. P. 108–141.

Goyal S.K., Giri B.C. Recent trends in modeling of deteriorating inventory // *European Journal of Operational Research.* 2001. Vol. 134. P. 1–16.

Halley J., Nollet M., Beaulieu J. et al. Direction for future research // *Int. Journal Technol. Manag.* 2010. Vol. 49. P. 297–313.

Hazen B.T., Boone C.A., Ezell J.D., Jones-Farmer L.A. Data quality for data science, predictive analytics, and big data in supply chain management: An introduction to the problem and suggestions for research and applications // *Int. Journal Prod. Econ.* 2014. Vol. 154. P. 72–80.

Hult G.T.M., Ketchen D.J., Slater S.F. Information processing, knowledge development, and strategic supply chain performance // *Acad. Manag. Journal.* 2004. Vol. 47. P. 241–253.

Ivanov D. Supply chain multi-structural (re)-design // *International Journal of Integrated Supply Management.* 2009. Vol. 5. No. 1. P.19–37.

Ivanov D., Pavlov A., Sokolov B. Optimal distribution (re)planning in a centralized multi-stage supply network under conditions of the ripple effect and structure dynamics // *European Journal of Operational Research.* 2014a. Vol. 237. P. 758–770.

Ivanov D., Sokolov B. Dolgui A. The Ripple effect in supply chains: trade-off 'efficiency-flexibility-resilience' in disruption management // *International Journal of Production Research.* 2014b. Vol. 52. No. 7. P. 2154–2172.

Jain S., Sigurðardóttir S., Lindskog E. et al. Multi-Resolution Modeling for Supply Chain Sustainability Analysis // *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference.* 2013. P. 1996–2007.

Jain S., Sigurðardóttir S., Lindskog E. et al. Multi-resolution modeling for supply chain sustainability analysis. 2013 Winter Simulations Conference (WSC). 2013. P. 1996–2007.

James S., Doug L. Modelling the relationship between local logistics management decisions and overall supply chain performance: A research agenda // *International Journal of Business Performance Management.* 2007. Vol. 9 (2). P. 240–252.

Karaesmen I.Z., Scheller-Wolf A., Deniz B. Managing Perishable and Aging Inventories: Review and Future Research Directions // *International Series in Operations Research & Management Science.* 2011. Vol. 151. P. 393–436.

Karkula M., Bukowski L. Computational intelligence methods — Joint use in discrete event simulation model of logistics processes // *Proceedings of the 2012 winter simulation conference (WSC).* 2012. P. 1–12.

Kleindorfer P.R., Saad G.H. Managing disruption risks in supply chains. *Production and Operations Management.* 2005. Vol. 14. P. 53–68.

Kumar S., Nottestad D.A. Supply chain analysis methodology — Leveraging optimization and simulation software. *OR Insight.* 2013. Vol. 26 (2). P. 87–119.

Li Qiuzheng. A VMI Model in Supplier-Driven Supply Chain and Its Performance Simulation // International Journal of Information Engineering and Electronic Business. 2010. Dec. Vol. 2. Iss. 2. P. 17–23.

Lim M.K., Bassamboo A., Chopra S., Daskin M.S. Facility Location Decisions with Random Disruptions and Imperfect Estimation // Manufacturing and Service Operations Management. 2012. Vol. 15 (2). P. 239–249.

Lu L., Xinlei L. Guangchen L. The risk management of perishable supply chain based on coloured Petri Net modeling // Information Processing in Agriculture. 2018. Vol. 5 (1). P. 47–59.

Marra M., Ho W., Edwards J.S. Supply chain knowledge management: A literature review // Expert Syst. Appl. 2012. Vol. 39. P. 6103–6110.

Marra M., Ho W., Edwards J.S. Supply chain knowledge management: A literature review. Expert Systems with Applications. 2012. April. Vol. 39. Iss. 5. P. 6103–6110.

Martin V., Basnet C., Childerhouse P., Foulds L. Knowledge management for the sustainable supply chain: a literature review // Proceedings of the European Conference on Knowledge Management. 2006. P. 302–309.

Merkuryeva G., Vecherinska O. Randomness Modeling in Supply Chain Simulation // 2010 International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation Intelligent Systems. Modelling and Simulation (ISMS). 2010. P. 128–133.

Min H., Zhou G. Supply chain modeling: past, present and future // Computers and Industrial Engineering. 2002. Vol. 43 (1–2). P. 231–249.

Mohd R., Kaanodiya K.K., Sachin K.V. Modeling of supply chain dynamics: A lingo based three-tier distribution approach // International Journal of Education & Applied Sciences Research. 2017. Vol. 4 (1). P. 24–32.

Nahmias S. Perishable Inventory Theory: A Review, Operations Research. 1980. Vol. 30. No. 4. P. 680–708.

Nair A., Narasimhan R., Choi T.Y. Supply Networks as a Complex Adaptive System: Toward Simulation-based Theory Building on Evolutionary Decision Making // Decision Sciences. 2009. Vol. 40 (4). P. 783–815.

Oliveira J.B., Lima R.S., Montevechi J.A.B. Perspectives and Relationships in Supply Chain Simulation: A Systematic Literature Review // Simulation Modelling Practice and Theory. 2016. Vol. 62. P. 166–191

Pahl J., Voß S. Integrating deterioration and lifetime constraints in production and supply chain planning // European Journal of Operational Research. 2014. November. Vol. 238 (3). P. 654–674.

Pedroso M.C., Nakano D. Knowledge and information flows in supply chains: A study on pharmaceutical companies // *Int. Journal Prod. Econ.* 2009. Vol. 122. P. 376–384.

Rabe M., Spieckermann S., Horvath A., Fechteler T. An approach of methods for increasing flexibility in green supply chains driven by simulation // *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference.* 2012. P. 3144–3155.

Raisinghani M.S., Meade L.L. Strategic decisions in supply-chain intelligence using knowledge management: An analytic-network-process framework // *Supply Chain Manag.:* *Int. Journal.* The impact of the supply chain on core competencies and knowledge management. 2005. Vol. 10. P. 151–170.

Reveillac J.-M. *Modeling and Simulation of Logistics Flows 1: Theory and Fundamentals.* 2017.

Reveillac J.-M. *Modeling and Simulation of Logistics Flows 2: Dashboards, Traffic Planning and Management.* 2017.

Rice J.B., Caniato F. Building a secure and resilient supply network // *Supply Chain Management Review.* 2003. Vol. 7. P. 22–30.

Sambasivan M., Loke S.P., Abidin-Mohamed Z. Impact of knowledge management in supply chain management: A study in Malaysian manufacturing companies // *Knowl. Process Manag.* 2009. Vol. 16 (3). P. 111–123.

Samuel K.E., Goury M.L., Gunasekaran A., Spalanzani A. Knowledge management in supply chain: An empirical study from France // *Journal Strateg. Inf. Syst.* 2011. Vol. 20 (3). P. 283–306.

Sangari M.S.A., Hosnavi R.B., Zahedi M.R.B. The impact of knowledge management processes on supply chain performance: an empirical study // *Int. Journal Logist. Manag.* 2015. Vol. 26 (3). P. 603–626.

Schmitt A.J., Singh M. A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain // *Int. J. Production Economics.* 2012. Vol. 139. P. 22–32.

Schmitt A.J., Singh M. Quantifying supply chain disruption risk using monte carlo and discrete-event simulation // Rossetti M.D., Hill R.R., Johansson B. et al. (eds). *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference.* 2009. P. 1237–1248.

Schmitt A.J., Sun S.A., Snyder L.V., Shen Z.-J. M. Centralization versus Decentralization: Risk Pooling, Risk Diversification, and Supply Chain Disruptions // *Omega.* 2015. Vol. 52. Iss. C. P. 201–212.

Shapiro J.F. *Modeling the supply chain.* Pacific Grove, CA: Wadsworth Group, 2001.

Sheffi Y. Supply chain management under the threat of international terrorism // *International Journal of Logistics Management.* 2001. Vol. 12. P. 1–11.

Sheffi Y., Rice J. A supply chain view of the resilient enterprise // MIT Sloan Management Review. 2005. Vol. 47. P. 41–48.

Shih S.C., Hsu S.H.Y., Zhu Z., Balasubramanian S.K. Knowledge sharing — a key role in the downstream supply chain // Inf. Manag. 2012. Vol. 49 (2). P. 70–80.

Snyder L.V., Atan Z., Peng P. et al. OR/MS Models for Supply Chain Disruptions: A Review // IIE Transactions, 2015.

Snyder L.V., Daskin M.S. Reliability models for facility location: The expected failure cost case // Transportation Science. 2005. Vol. 39. P. 400–416.

Stefanovic D., Stefanovic N., Radenkovic B. Supply Network Modelling and Simulation Methodology // Simulation Modelling Practice and Theory. 2009. Vol. 17 (4). P. 743–766.

Thierry C., Bel G., Thomas A. Supply chain management simulation: An overview // Thierry C., Thomas A., Bel G. Simulation Simulation for Supply Chain Management, ISTE and John Wiley & Sons, 2008. P. 1–36 (Control Systems, Robotics and Manufacturing Series).

Tomlin B. Disruption-management strategies for short life-cycle products // Naval Research Logistics. 2009. Vol. 56. P. 318–347.

Vieira G.E. Ideas for Modeling and Simulation Supply Chain with Arena // Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, Washington, DC. 2004. P. 1418–1427.

Waller M.A., Fawcett S.E. Data science, predictive analytics, and big data: A revolution that will transform supply chain design and management // Journal Bus. Logist. 2013. Vol. 34 (2). P. 77–84.

Wei J., Leung S.C.H. A simulation modeling and analysis for RFID-enabled mixed-product loading strategy for outbound logistics: A case study // Computers & Industrial Engineering. 2011. Vol. 61 (1). P. 209–215.

Windisch J., Roser D., Mola-Yudego B. et al. Business process mapping and discrete-event simulation of two forest biomass supply chains // Biomass Bioenergy. 2013. Vol. 56. P. 370–381.

Windisch J., Väättäinen K., Anttila P. et al. Discrete-event simulation of an information-based raw material allocation process for increasing the efficiency of an energy wood supply chain // Appl. Energy. 2015. Vol. 149. P. 315–325.

Xu M., Wang X., Zhao L. Predicted supply chain resilience based on structural evolution against random supply disruptions // International Journal of Systems Science: Operations & Logistics. 2014. Vol. 1:2. P. 105–117.

Выводы

1. Цепи поставок (ЦП) — сложные адаптивные системы, характеризующиеся структурной и динамической сложностью, функционирующие в условиях неопределенности и действия большого количества случайных факторов. УЦП сопряжено с выработкой большого количества управленческих решений и наличием слабоструктурированных проблем в области дизайна, планирования, инжиниринга и аудита ЦП, ориентированных на обеспечение интеграции и достижение синергетической эффективности ЦП в целом, динамичности, устойчивости, гибкости, надежности ЦП; с совершенствованием межорганизационного взаимодействия участников ЦП и выработкой стратегий развития и сотрудничества. В этих условиях исследование и управление такими сложными системами должно опираться на принципы системного подхода, кибернетики, синергетики и самоорганизации, что требует поиска адекватных методов моделирования и анализа ЦП для решения задач планирования, контроля и управления логистическими процессами в цепях поставок и применения в управленческой практике передовых компьютерных инструментов имитационного моделирования, методов анализа данных и технологий искусственного интеллекта и управления знаниями, которые демонстрируют большие возможности в исследовании систем такой сложности и многослойной проблематики, по сравнению с традиционными аналитическими подходами.

2. Вызовы цифровых трансформаций в УЦП определяют необходимость развития методологии, методик и референтных моделей, исследования возможностей и применения современных компьютерных интеллектуальных технологий для анализа (аудита), дизайна и моделирования ЦП, которые необходимо также трансформировать в реальную управленческую практику. Проблематика моделирования цепей поставок носит междисциплинарный характер в области теории сложности и целого ряда системологических наук, прежде всего синергетики, предполагает изучение возможностей и применение широкого спектра интеллектуальных компьютерных технологий в предметной области «управление цепями поставок», сопряженной с решением новых и актуальных задач стратегического развития и анализом перспектив создания гибких, адаптивных, динамичных ЦП в условиях внедрения современных логистиче-

ских концепций и технологий и связанных с ними цифровых трансформаций.

3. Количество управленческих и академических публикаций, преуспевающих в последние несколько лет, как показывает настоящий обзор, демонстрирует существенное внимание к применению в УЦП передовой аналитики, методов и современных компьютерных инструментов имитационного моделирования и искусственного интеллекта и является ключом к цифровому преобразованию ЦП, но также оставляет нерешенными и недостаточно исследованными целый ряд проблем в отношении развития и синтеза менеджеральных подходов и компьютерных техник моделирования, основанных на синтезе аналитического и имитационного моделирования, методов искусственного интеллекта и статистических подходов в оценке рисков и др., для решения широко спектра задач в области дизайна (SCD), моделирования, планирования (SCP) и анализа ЦП (SCA), а также развития методов и инструментов исследования интегрированных и коллаборативных ЦП как систем, обладающих существенной структурной и динамической сложностью. Актуальным направлением является также разработка и применение деловых имитационных игр в образовательном процессе, способствующих развитию системного мышления менеджеров и решению сложных управленческих задач при формировании бизнес-стратегии, управлении цепями поставок и др.

4. Применение методов системной динамики, агентно-ориентированного моделирования социального и организационного поведения (а также комплексные подходы по использованию технологий имитационного моделирования, методов анализа больших данных и искусственного интеллекта) в управленческом консалтинге является актуальным направлением исследовательской и образовательной деятельности крупнейших исследовательских центров и сообществ во всем мире, а также ведущих университетов в области менеджмента и бизнес-школ США и Европы.

5. Реализация методик, применяемых для поддержки принятия управленческих решений при цифровой трансформации ЦП, должна быть основана на технике гибридного компьютерного моделирования, с сочетанием методов предсказательной и предикативной аналитики, методов исследования операций и математического моделирования, управления знаниями и онтологического моделирования предметной области, когнитивными методами

анализа проблем и экспертными оценками, методами оценки и управления рисками (процедуры стресс-тестирования) и другими интеллектуальными технологиями.

Перспективными направлениями исследования являются:

- развитие методов инжиниринга организационных и логистических систем, дизайна цепей поставок и методик системного бизнес-моделирования с применением современных информационно-аналитических решений на основе гибридного имитационного и оптимизационного моделирования, онтологий, когнитивной аналитики, с применением технологий анализа данных и управления знаниями;
- исследование системологии, теории сложности, синергетики в сфере инжиниринга и моделирования бизнес-систем, дизайна ЦП, исследование возможностей и инструментальных решений на основе системного компьютерного моделирования и интеллектуальных технологий в организационных науках и УЦП;
- построение концептуальных и программных фреймворков (референтных бизнес-моделей) для системного исследования и проектирования логистических систем и ЦП на основе гибридного имитационного моделирования и онтологий;
- формирование методик и процедур управленческого консультирования, инжиниринга и дизайна, основанных на адаптации современных управленческих методик и подходов с техникой компьютерного имитационного моделирования;
- развитие методологии, базовых методов и компьютерного инструментария дизайна, анализа и синтеза цепей поставок и оптимизации логистических процессов в цепях поставок, позволяющих осуществлять решение широкого класса задач научно-исследовательского и прикладного характера в области интегрированной логистики и УЦП, в том числе проектирование сетевой структуры ЦП, экспертиза размещения производственных и логистических мощностей, моделирование и реинжиниринг логистических процессов в цепях поставок на основе техники и методологии e-SCOR-моделирования; управление запасами в эшелонированных цепях поставок; модельное исследование феноменов межорганизационной координации в УЦП, оценка логистических рисков в цепях поставок, аудит решений по УЦП;

- аналитико-имитационные процедуры и методики дизайна ЦП на основе имитационного, оптимизационного моделирования, процедур оценки рисков и др.;
- разработка методики проведения проектов и процедур реинжиниринга бизнес-процессов в цепях поставок на основе методологии SCOR и техники e-SCOR;
- методология составления концептуального описания имитационной модели ЦП;
- разработка референтной многоагентной имитационной модели ЦП для экспериментальной апробации стратегий сотрудничества и межорганизационного взаимодействия контрагентов ЦП.

Заключение

В результате проведенного аналитического обзора и анализа можно сделать вывод, что внедрение методологии и практического инструментария цифровизации логистики и цепей поставок предприятий различных отраслей обеспечивает значительные преимущества и возможности УЦП: от сквозной видимости до продвинутой аналитики и автоматизации контроля и управления процессами в цепях поставок. Приведем некоторые ключевые возможности:

- Сквозная видимость (end-to-endvisibility) — видимость среди контрагентов по цепи поставок, включая поставщиков, контрактных производителей, перевозчиков, 3PL-провайдеров и др.
- Совместный обмен информацией — сотрудничество контрагентов цепи в режиме реального времени на основе мульти-эшелонированной сетевой структуры и технологии блокчейн.
- Ранние предупреждения и управление исключениями — устранение сбоев в цепи поставок, прежде чем они нарушат бизнес контрагентов цепи.
- Предсказательная и предписывающая аналитика и поддержка принятия решений — с использованием продвинутых методов прогнозирования, искусственного интеллекта, компьютерного моделирования и мультиагентных систем.
- Автономное принятие решений и контроль — уменьшение рутинных операций и увеличение производительности персонала, производственной и логистической инфраструктуры за счет использования цифровых технологий: AI, ML, AR/VR, робототехники, беспилотного транспорта и 3D-печати.
- Самокорректирующаяся цепочка поставок с принятием оптимальных решений и машинное обучение.

В заключение необходимо отметить возможности горизонтальной кооперации цепей поставок при формировании цифровой экосистемы, в частности в межотраслевом разрезе. Развитие интеграции, в том числе информационной, инициирует формирование цифровой экосистемы, позволяющей предлагать клиентам

комплексные услуги. Цифровые решения могут помочь контрагентам цепей создания ценности работать вместе более тесно. Фокусные компании цепей поставок могут либо формировать и организовывать цифровую экосистему самостоятельно, либо сосредоточиться на нишевом сервисе, который повышает ценность обслуживания клиентов и становится частью уже существующей экосистемы.

Резюмируя вышеизложенные методологические подходы, хотелось бы выразить надежду на то, что их использование приведет к более адекватным результатам при цифровой трансформации цепей поставок в различных отраслях экономики нашей страны.

Авторы

Дыбская В.В. — д.э.н., профессор, зав. кафедрой логистики, руководитель Школы логистики факультета бизнеса и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Сергеев В.И. — д.э.н., профессор, зав. кафедрой управления цепями поставок Школы логистики факультета бизнеса и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Лычкина Н.Н. — к.э.н., доцент кафедры информационных систем и технологий Школы логистики факультета бизнеса и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Морозова Ю.А. — к.э.н., доцент кафедры информационных систем и технологий Школы логистики факультета бизнеса и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Сергеев И.В. — к.э.н., доцент кафедры информационных систем и технологий Школы логистики факультета бизнеса и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Дутиков И.М. — аспирант Школы логистики факультета бизнеса и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Корниенко П.А. — аспирант Школы логистики факультета бизнеса и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Digital Technologies in Logistics and Supply Chain Management: Analytical review [Text] / V. V. Dybskaya, V. I. Sergeev, N. N. Lychkina et al. ; ed. by V. I. Sergeev ; National Research University Higher School of Economics. — Moscow : HSE Publishing House, 2020. — 192 pp. — 500 copies. — ISBN 978-5-7598-2348-3 (pbk.). — ISBN 978-5-7598-2243-1 (e-book).

The analytical review identifies the main trends in the digitalization of supply chains and logistics in industry and trade. Methodological aspects of digital transformation of supply chains are considered. The prospects and problems of using digital technologies such as blockchain, Internet of things, augmented reality, cloud services, big data analysis and predictive analytics, robots, drones, unmanned cars, and 3D printing in logistics and supply chain management are identified.

Attention is also paid to issues concerning creating digital twins, modeling, and re-engineering of business processes in supply chains.

Научное издание

**Цифровые технологии в логистике
и управлении цепями поставок**

Аналитический обзор

Зав. редакцией *Е.А. Бережнова*

Редактор *Н.М. Дмуховская*

Художник *В.И. Каменева*

Корректор *Н.М. Дмуховская*

Компьютерная верстка и графика: *Ю.Н. Петрина*

Подписано в печать 23.12.2020. Формат 60×90/16
Гарнитура Newton. Усл. печ. л. 12,0. Уч.-изд. л. 9,5
Тираж 500 экз. Изд. № 2464

Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20
Тел.: (495) 772-95-90, доб. 15285