

# Модели архитектуры цифровых экосистем в сфере управления цепочками поставок

А. С. Сулейкин, Н. Н. Бахтадзе

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Цифровизация и ее проникновение в область управления цепочками поставок стремительно развивается; появляются цифровые экосистемы цепочек поставок – интегрированные платформы контроля, планирования и управления в цепочках поставок. В статье представлен обзор основных результатов исследований по созданию цифровых экосистем в области цепочек поставок, приведено описание бизнес-модели, а также модели общего и расширенного архитектурного взаимодействия информационных потоков между различными классами систем и внутри самой цифровой экосистемы, представлены основные преимущества развития таких экосистем для компаний и предприятий.

**Ключевые слова:** цифровые экосистемы, цепочки поставок, модель архитектуры экосистем, сервисы.

DOI 10.14357/20718632190403

## Введение

Конкурентоспособность промышленных производителей сегодня во многом определяется гибкостью и эффективностью их деятельности за счет применения передовых технологий, обеспечивающих быстрое и эффективное использование цифровой информации, в том числе, между различными системами производственного управления, а также интеллектуальных приложений для решения определенных производственных задач. Такие системы получили название Smart Manufacturing System (SMS) или Industrie 4.0 (соответственно, в США и Германии).

С момента предложения в Германии в 2011 году Программы Industrie 4.0 опыт различных компаний и промышленных предприятий многих стран показывает, что глобальная цифровая трансформация стала реальностью и наблюдается

переход от высокотехнологичной промышленности к «цифровой промышленности», характеризующейся: использованием облачных сервисов, аддитивных технологий, промышленного интернета вещей, RFID-технологий, цифровых двойников, технологии анализа больших данных; преобладанием кластерно-сетевых систем с горизонтальными связями, сокращающих время: принятия решений, выполнения проектов, вывода продукции на рынок и т.д.

Выраженной тенденцией в мировой экономике становится тот факт, что отраслевые и межсекторальные цифровые платформы трансформируются в цифровые экосистемы, которые позволяют создавать новые бизнес-модели, инновации и повышать конкурентоспособность [1].

Последний период развития управления промышленным производством характеризовался развитием цифровых платформ, в частности — расширением их функциональности [2]: «Компании создавали свою продукцию, позво-

ля другим компаниям использовать их продукты или создавать новые продукты на основе своих сервисов. Благодаря этому подходу получили развитие Google, Facebook, Apple, Amazon, AirBnB, а также большинство нынешних крупных ИТ-компаний». Однако, как отмечают авторы, сегодня «наступила новая эпоха – создание цифровых экосистем».

Будем понимать под **цифровой экосистемой** распределенную социально-техническую систему, обладающую свойствами адаптивности, самоорганизации и устойчивости, функционирующую в условиях конкуренции и сотрудничества между различными субъектами данной системы (автоматизированными системами и экономическими субъектами) для обмена знаниями в условиях эволюционного развития системы. Цифровая экосистема осуществляет функционирование на основе компьютерной сетевой инфраструктуры с использованием интеллектуальных технологий управления, например, мультиагентных технологий [3].

Формирование национальных цифровых экосистем на основе глобального цифрового пространства сегодня является необходимым условием опережающего роста экономики государств [1]. Прорывное развитие экономики может быть осуществлено за счет качественного изменения структуры и системы управления экономическими активами. Одним из наиболее значимых активов становятся объемные многоотраслевые информационные данные.

Приоритетным направлением становится управление на основе анализа *больших данных* (*Big Data*) и прогнозирующих моделей реального времени. Технологии вычислений в оперативной памяти (*in-memory computing*) ускоряют обработку больших объемов данных и поэтому, по мере роста такого явления, как большие данные, приобретают все большую популярность среди предприятий.

Модели объектов и их динамики, а также модели динамических процессов, настраиваемые в реальном времени, используют закономерности, извлекаемые с помощью анализа исторических и текущих данных. Эти закономерности составляют суть термина *индуктивные знания* [4].

Возрастающая информационная насыщенность и сложность решаемых в реальном вре-

мени разнообразных производственных задач на разных уровнях производственного управления (управление технологическими процессами, оперативное управление производством и производственная логистика, управление ресурсами и взаимоотношениями с поставщиками и потребителями) делают естественным переход от жестких иерархических вертикалей организации управления к кластерно-сетевому формату. Особенную значимость имеют обеспечение устойчивости в условиях динамически нестабильной внешней среды (например, экономической) и обеспечение устойчивого развития системы [5].

В последние годы наиболее популярным классом систем управления для сложных технологических объектов (нелинейных объектов, объектов со значительным транспортным запаздыванием, объектов с взаимосвязанными регулируемыми переменными, объектов с множеством одновременно соблюдаемых ограничений) стала технология управления на основе прогнозирующей модели объекта [6]. Идея такого управления – введение заранее построенной (периодически актуализируемой) математической модели объекта в контур автоматического управления. В мировую практику вошел термин *Model-based predictive control* (или, сокращенно: *Model predictive control* - «*Прогнозирующее управление на основе модели*» или «*предикт-контроллер*»). Системы управления с использованием прогнозирующей модели получили название *систем усовершенствованного управления* (APC - *Advanced Process Control*).

Повышение требований по быстродействию, точности и возможности управления в условиях неопределённости при наличии различного рода возмущений в системах управления производственными процессами продемонстрировали недостаточность возможностей традиционных подходов к синтезу систем автоматического управления. Попытки применить кибернетический подход типа «черный ящик» к управлению сложными многомерными многосвязными производственными объектами, возможно, содержащими активные элементы, оказались несостоятельными. Интеллект компьютеров с классической архитектурой оказался неспособным решить целый ряд задач

оперативного регулирования сложного динамического процесса производства.

Постиндустриальная экономика охарактеризовалась созданием методов адекватного представления в машинной среде *знаний* о свойствах и функционировании реальных объектов и процессов. И ученые и технологи пришли к выводу, что полная автоматизация предприятия как социотехническая система должна создаваться на принципиально иной методологической основе. Потребовался новый методологический подход, апеллирующий к участию в управлении производством интеллекта человека. И таким подходом стало генерирование знаний в реальном времени на основе интеллектуального анализа данных реального функционирования объекта/процесса. Такой подход позволяет, в частности, эффективно прогнозировать различные нештатные ситуации, обеспечивая устойчивость функционирования цифровых производственных экосистем и их безопасность.

В настоящее время существуют определенные разночтения в определении цифровой экосистемы. Приведем некоторые из них.

- F. Nachira, P. Dini, A.A. Nicolai [7]: цифровая экосистема (ЦЭС) формируется посредством объединения ИТ-сетей (ИТ – информационные технологии), социальных и обмена знаниями. Понятия *e-learning ecosystem* и *digital ecosystem* (экосистемы с машинным обучением и цифровые экосистемы) отождествляются. ЦЭС обеспечивает доступ к знаниям, глобальным цепочкам добавленной стоимости, специфическим сервисам, адаптацию новых технологий, принятие новых бизнес-моделей. Экономика больше не рассматривается как полностью управляемая система, для которой составляется план функционирования: отдельные активные элементы определяют ее функционирование в зависимости от текущей ситуации, это уже экосистема [8].

- H. Dong, F.K. Hussain, E. Chang под цифровой экосистемой понимают совокупность цифровых двойников и инфраструктуру передачи данных, их хранения и обработки, а также пользователей систем, включая социальные, экономические, политические, психологические и иные факторы, влияющие на осуществление взаимодействий [9].

- В цифровой экосистеме «партнеры и конкуренты взаимодействуют как единая команда, объединяя ресурсы, знания для совместной работы над проектами в режиме взаимной полноты информации и созидания (co-creation), не переставая соперничать по линии других процессов» [10].

- Информация становится ресурсом, который можно использовать, производить и трансформировать так же, как материальные ресурсы. Ключевая экологическая идея касается сохранения и увеличения пользовательской стоимости информации [11].

- Экосистема определяется как домен кластерной среды, в которой все участники слабо связаны, соблюдают собственную выгоду и сберегают окружающую среду. С развитием информационно-коммуникационных технологий человек стал жить одновременно в цифровой и экологической средах, т. е. в двойной среде [12].

- В цифровой экосистеме экономика спонтанно трансформируется в сетевую, т. е. в «непрерывно текущее пространство потоков», получая способность непрерывных обновлений. Возникают нелинейные формы коммуникаций со стертыми пространственными и временными границами [13].

Однако для обеспечения устойчивого развития производственной системы и достижения конкурентного преимущества необходимо не только гарантировать оптимальность управления ключевыми производственными процессами определенного предприятия. Необходимо исследование всей цепочки создания добавленной стоимости, включая места сопряжения различных фаз производственного процесса, в том числе, предшествующие стадии. Поэтому технология *управления цепочками поставок (Supply Chain Management, SCM)* играет определяющую роль в интеграции всех логистических процессов – как непосредственно на самом предприятии, производящем продукцию, так и логистики поставщиков сырья, материалов, комплектующих, информационных, транспортных, складских услуг.

В данной работе основное внимание уделено исследованию цифровых экосистем в области SCM.

## 1. Цифровые экосистемы управления цепочками поставок

С учетом особенностей современных цифровых инфраструктур управления производством большую важность обретают процессы проектирования, планирования и внедрения инструментов управления цепочками поставок, обеспечивающих максимальную синергию внутренней и межорганизационной интеграции и координации в рамках цифровой промышленной бизнес-экосистемы. Управление производственными и бизнес-экосистемами в аспекте организации функционирования цепочек поставок представляет собой сложную задачу, решение которой невозможно без построения эффективной, масштабируемой, децентрализованной и отказоустойчивой архитектуры таких систем.

Приведем краткий обзор основных направлений проводимых сегодня исследований в области развития цифровых экосистем для управления цепочками поставок. Далее будут предложены методология, технологический базис и базовая архитектура построения систем такого класса.

Из литературы известно множество моделей и методов управления цепочками поставок [14]. Понятие экосистемы применительно к цепочкам поставок формулируется различным образом [15]. Так, в работе [16] термин *экосистема* используется в качестве единицы анализа при описании группировок поставщиков и распределительных цепочек, которые понимаются как свободные группы организаций, занимающихся созданием и доставкой продуктов и услуг. Тот же термин используют Iansit и Levien [17] в описании «стратегии как экологии». *Концепция создания стоимости* определена Портером [18] как «вертикальная цепочка, продолжающаяся от поставщика ресурсов фирмам и покупателям товаров и услуг у этих фирм». Цепочка создания стоимости как конструкция в этом контексте представляет собой набор субъектов, ресурсов и процессов, согласованных с основными и вспомогательными мероприятиями, которые вместе представляют этапы обработки продуктов и набор сервисов. Выделяются основные виды деятельности и вспомогательные виды деятельности. Первичный вид деятельности непосредственно связан с созданием или до-

ставкой продукта либо услуги. Каждый из этих основных видов деятельности связан с деятельностью поддержки, которая помогает повысить их эффективность.

Эта структура была далее расширена [19], и появилось понятие *цепочки поставок* – объединения всех поставщиков, посредников и клиентов, которые вместе представляют цепочку создания стоимости организации и рынка, на котором она работает. Цепочка поставок расширяет внутреннюю цепочку создания стоимости предприятия и компании для внешнего сотрудничества и обмена сырьем, знаниями, товарами и услугами с другими игроками. В [20] *цепочка поставок* определяется как «сеть организаций, которые вовлечены через восходящие и нисходящие связи в различные процессы и виды деятельности, которые рассматривают продукт в форме продуктов и услуг в руке конечного потребителя».

Появление цифровых экосистем продуцирует реконфигурацию создания стоимости. В [21] представлены три типа *«созвездий контрольных точек»*, которые представляют три модели топологии участников цепочки: *закрытая вертикально-интегрированная модель, модель слабосвязанной коалиции и модель многосторонних платформ*.

Новая топологическая модель возникает вокруг крупных игроков, которые стремятся доминировать на мировых рынках и нарушить границы отрасли. Эта модель сформирована перекрывающимися бизнес-сообществами, которые включают в себя крупные организации и их соответствующие экосистемы. Так, в [22] автор описывает «глобальную эволюционную тенденцию – к формированию цепочек поставок, управляемых цифровыми экосистемами», описывая общий концепт развития цепочек поставок и места в нем цифровым экосистемам.

### 1.1. Математические модели

Внимание к использованию математических моделей для оптимизации цепочек поставок возрастает [14], главным образом, из-за их более низкой стоимости и более широких возможностей. В управлении цепочками поставок использование математического моделирования не является специфическим для какого-либо конкретного уровня производственного управления.

Они могут использоваться на любом уровне (стратегическом, тактическом или операционном), с учетом таких факторов, как маршрутизация перевозок, распределительные сети или складские операции. Методы математического моделирования, которые обычно рассматриваются в задачах управления цепочками поставок, включают: линейное программирование, смешанное целочисленное / целочисленное линейное программирование, нелинейное программирование, многоцелевое программирование, нечеткое математическое программирование, стохастическое программирование, эвристические алгоритмы, а также мета-эвристику и гибридные модели. В [23] авторы исследуют взаимосвязь между волновым эффектом и «эффектом кнута» в условиях скоропортящихся продуктов, стохастического спроса, политики управления запасами, планирования партий продукции и случайных перебоев в загрузке. Разработанная имитационная модель используется для экспериментов с целью получения управленческой информации для смягчения распространения нарушений в цепочке поставок.

Формируется целевая функция, аргументами которой в цепочках поставок могут являться: количество распределительных центров, количество дней поставки, объемы батчей (batch – партии продукции), время производства партии, объем склада и др. Так, в [24] в качестве целевой функции рассматриваемой модели выбирается минимум совокупной стоимости продукта с учетом минимального требуемого уровня обслуживания (т. е. соотношения поставляемой и заказанной продукции).

Другим типом целевой функции может служить функция общих затрат, которая представляет собой сумму затрат на хранение запасов в распределительных центрах, затрат на списание продуктов (то есть затрат на продукты с истекшим сроком годности), транспортных расходов, производственных затрат, а также штрафов за поздние поставки. Общие затраты рассчитываются для большого количества периодов как сумма общих затрат на хранение, транспортных расходов, расходов на списание, штрафных затрат и производственных затрат. Для хранения общих запасов учитываются затраты на хранение в единичных запасах и транспортные расходы, расходы на хранение и транспортировку, соответ-

ственно. Когда срок годности запасов истекает, затраты на списание увеличиваются пропорционально закупочным ценам. Если размер заказа клиента превышает запас в распределительном центре, применяется штраф. Производственные затраты зависят от затрат на настройку, с учетом количества установок и производственных затрат для используемой емкости.

## 1.2. Цепочки поставок и цифровые экосистемы

Цифровые экосистемы могут быть описаны [25] как цифровые аналоги биологических экосистем. Были описаны самоорганизующиеся свойства биологических экосистем, которые предусматривают надежную самоорганизующуюся и масштабируемую архитектуру для автоматического решения сложных и динамических проблем. Принципы и семантика, используемые в цифровых экосистемах, сформулированы в [26]. Продолжаются исследования цифровых экосистем посредством расширения их сфер применения в таких областях, как транспорт, образование и здравоохранение [27]. В [28] авторы рассматривают возможность разработать цифровую экосистему для транспорта и складской логистики. Виртуальный Совместный Консорциум, осуществляющий бизнес цифровых экосистем в Австралии, является примером среды сотрудничества для всех, кто участвует в создании продукта распределительной цепочки. Последнее предполагает создание цепочки поставок, которая способствует интеграции и сотрудничества малых и средних предприятий, в частности, стимулирует сотрудничество и повышает эффективность бизнеса [29]. В [30] предложена модель распределенной цепочки поставок, основанная на *мультиагентной технологии*. В [31] задача цепочки доставки сформулирована в терминах *сети зависимостей задач*; на основе математической модели изучены вопросы равновесия и сходимости и предложено приложение для формирования цепочки доставки в автомобильном производстве. В [32] уделяется внимание исследованию в области создания ценностей в цифровых цепочках поставок для организаций в исследовательской программе, где объединено теоретическое исследование и

реализована полностью автономная цепочка поставок, начиная с завода и заканчивая клиентской компанией.

### 1.3. Существующие цифровые платформы

На рынке уже существуют цифровые платформы, которые, по сути, являются экосистемами в области цепочек поставок.

Примером может служить платформа Oracle Transportation Management (OTM) для управления всей транспортной деятельностью в цепочках поставок. OTM — решение, входящее в состав Oracle Logistics. Решение Oracle Transportation Management предназначено для поддержки как транспортных компаний, так и поставщиков логистических услуг, и позволяет управлять всеми аспектами перевозок в глобальной цепочке поставок. Продукт помогает сократить затраты на фрахт, оптимизировать уровни обслуживания и автоматизировать процессы таким образом, чтобы компании могли более эффективно выполнять логистические операции.

Другой пример — независимая пан-европейская платформа Cargo Stream [18], которая координирует действия грузоотправителей, поставщиков логистических услуг и мультимодальных терминалов, что позволяет оптимизировать маршруты перевозок. Грузоотправители сообщают о своих регулярных потребностях в доставке. Оптимизационная опция Платформы анонимизирует и делает эти данные доступными для утвержденных оптимизаторов. Оптимизаторы анализируют, оптимизируют и осуществляют запуск работы утвержденных провайдеров для выработки предложений, которые удовлетворяют заявки всех грузоотправителей. После выработки решения провайдеры отправляют обновления о выполнении заказов «на платформу» для обновления информации у соответствующих грузоотправителей.

Еще один пример: Австралийское подразделение аудиторской компании PwC, Торгово-промышленная палата (ACCI) и порт Брисбена (Австралия) осуществляют разработку решения для повышения эффективности цепей поставок на основе технологии блокчейн (blockchain). Решение получило название Trade Community System [33].

### 1.4. Блокчейн технологии

*Блокчейн* (blockchain) представляет собой распределенную базу данных, в которой содержится и пополняется информация о транзакциях участников системы в формате цепочки блоков.

В последнее время в сфере управления цепочками поставок растет количество блокчейн-проектов, среди которых: блокчейн-технология для оформления контрактной документации Mercedes-Benz (совместно с Icertis); TradeLens — проект Maersk и IBM; система защищенных поставок для аэрокосмической и оборонной промышленности (компании Accenture и Thales, Великобритания) и др.

Многие известные ИТ-компании и стартапы иницируют перспективные пилотные проекты, в том числе:

- компания Walmart протестировала приложение для проверки подлинности транзакций проведения торговых операций, а также точности и эффективности ведения учета;
- Maersk и IBM работают над трансграничными транзакциями между сторонами, которые используют технологию блокчейн для повышения эффективности процессов;
- Samsung Electronics анонсировала внедрение блокчейн-системы для управления гигантской глобальной сетью поставок компании. Логистическое блокчейн-решение для Samsung разработала дочерняя компания — Samsung SDS;
- британский стартап Provenance разрабатывает решение на основе технологии блокчейн для отслеживания поставок продуктов питания.

Отметим следующие области, в которых наиболее явным видится повышение эффективности за счет применения технологии блокчейн:

- снижение затрат на логистику, минимизация ее доли в стоимости товара, устранение посредников;
- снижение убытков от недобросовестной деловой практики или недействительных контрактов на доставку;
- автоматизация основных бизнес процессов. Хотя в настоящее время в системах управления цепочками поставок могут обрабатывать большие и сложные наборы данных, многие их процессы, особенно процессы на более низких уровнях поставок, являются медленными;

- усиление прозрачности. Растущий нормативный и потребительский спрос на информацию о происхождении продукта уже стимулирует изменения. Кроме того, улучшение прозрачности также повышает ценность продукта за счет снижения высоких затрат на проблемы с качеством, такие как отзыв, ущерб репутации или потеря дохода от продуктов черного или серого рынка. Упрощение сложной базы снабжения открывает дополнительные возможности для создания стоимости;
- формирование конфиденциальных цепочек поставок;
- сокращение судебных и транспортных издержек для грузоотправителя;
- снижение затрат на ИТ-транзакции в цепочке поставок.

## 2. Бизнес-модель цифровой цепочки поставок

Бизнес-цель цифровой цепочки поставок – произвести и доставить продукт в руки клиента не только как можно быстрее, но и делать это ответственно и надежно, одновременно повышая эффективность и сокращая затраты за счет автоматизации. Эта цель не может быть достигнута, пока цепочка поставок не сформирована как надежное и эффективное объединение поставщиков, производства, логистики, складирования, а также клиентов. При таком формате интеграции сигналы, которые запускают события в цепочках поставок, могут исходить из любой точки сети и оповещать обо всех проблемах, влияющих на спрос или предложение, таких как: нехватка сырья или материалов, комплектующих, готовой продукции или запасных частей. Такая форма организации производственных процессов становится особенно эффективной для реализации гибкого, в частности, «показного производства» (производства по индивидуальному заказу), стремительно набирающего популярность (и повышающего требовательность клиентов).

Ключом к успеху для любой цепочки поставок является эффективный обмен информацией. Традиционная организация цепочек поставок характеризуется осложнениями, вызванными, прежде всего, отсутствием полной и своевременной информации о процессе. Внезапные изменения

спроса, нехватка сырья и нештатные ситуации продуцируют высокий риск срыва плана цепочки поставок. Вот почему главная цель цифровой цепочки поставок – открыть сеть снабжения для всеобщего обозрения, сделать ее прозрачной для всех участников. Рынки B2C с этой целью задействуют информацию от компаний. Также, чтобы обеспечить требуемый уровень видимости, требуется больше информации о прибытии груза с обновлениями в реальном времени. В сетях B2B производители ожидают своевременной информации о состоянии своих поставок, которые обычно связаны с производственными планами. Постоянно обновляемая и надежная информационная поддержка по транспортированию может значительно улучшить удовлетворенность потребителя, что может также позитивно сказаться на его лояльности к бренду. Получение высокой степени прозрачности в системе – нелегкая задача, решение которой характеризуется как высокой технической сложностью, так и достаточно высоким уровнем сложности действий человека. Но как только это будет достигнуто, преимущества будут значительными и не ограничатся только сбережением запасов и улучшением планирования.

## 3. Общая архитектура компонентов цифровой цепочки поставок

### 3.1. Модель архитектуры базовой модели

Для взаимодействия и информационного обмена между компонентами цифровой экосистемы цепочки поставок предлагается выделение архитектурных компонентов, представленных на Рис. 1.

Основными источниками данных для цифровой экосистемы являются различные транзакционные системы – ERP, CRM, SRM, WMS, откуда передаются данные о поставщиках, потребителях, планируемых ресурсах производства, остатках на складах, планируемых сроках доставки грузов и т. д. Далее данные передаются через корпоративную шину данных в слой обмена сообщениями в соответствии с моделью publish-subscribe (pub/sub – издатель-подписчик – шаблон передачи сообщений, в котором сообщения делятся на классы и не содержат сведений о своих подписчиках (subscriber), далее шаблоны могут использоваться для построения

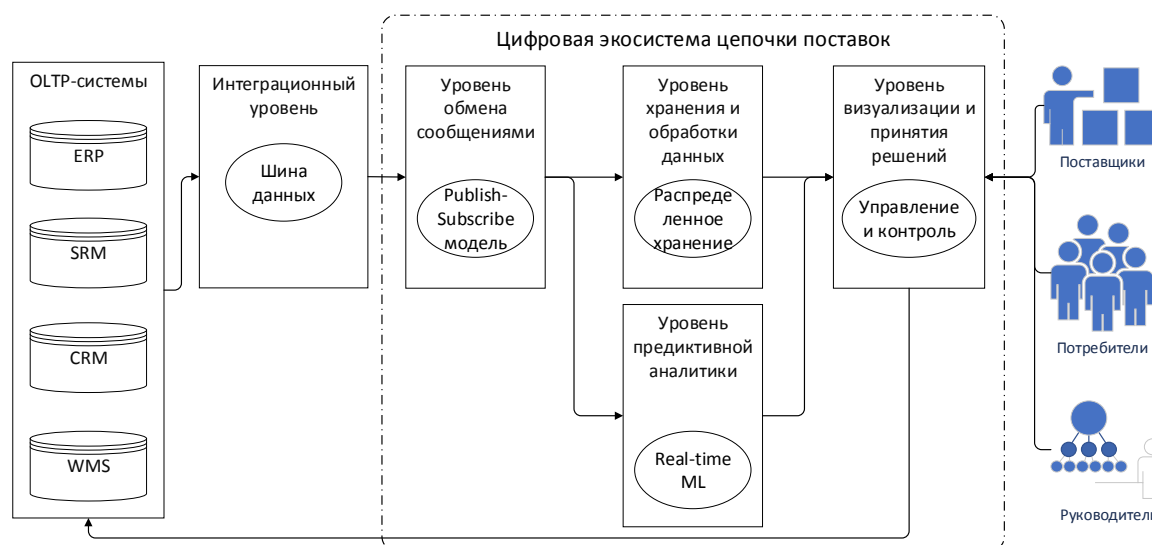


Рис. 1. Базовая модель взаимодействия информационных потоков цифровой экосистемы

моделей машинного обучения в реальном времени). На уровне визуализации и принятия решения происходит доступ к данным всех заинтересованных в эффективности и прозрачности процесса лиц – поставщиков, потребителей, а также руководителей производства, склада, распределения товаров и/или услуг. На этом уровне осуществляется оперативное, тактическое и стратегическое управление и формируется поддержка принятия решений, основанная на анализе данных. Это могут быть решения по изменению сроков производства, объемов товарных запасов на складах, количества поставщиков, клиентов и т. д. Все решения этого уровня оказывают прямое влияние на планы и записи по заказам клиентов и поставщиков, изменяя соответствующие планы и записи в системах-источниках.

### 3.2. Модель расширенной архитектуры

Расширенная модель цифровых экосистем в цепочках поставок отличается «переходом на полную цифровизацию» на всех компонентах архитектуры. Такие системы должны обладать следующими характеристиками:

- возможность получения данных из внутренних и внешних источников, включая трекинг транспорта устройств и социальное прослушивание, вынесенные на единую платформу;
- данные объединены и дополнены перекрестными ссылками, такими как события цепочки поставок, влияющие на предложение по

ставки. Соответствующая информация может быть извлечена из данных мониторинга погоды, трафика и новостных лент, а также социальных сетей;

- эта «обогащенная» информация затем «связывается» внутри платформы и размещается с помощью дополнительных аналитических и имитационных алгоритмов, осуществляющих стратегическую оптимизацию на различных уровнях. Эта информация должна поступать в центр управления, в котором применяются современные методы анализа и прогнозирования и алгоритмы управления логистической деятельностью;

- в результате «единый источник правды» позволяет компаниям оптимизировать свой выбор в различных условиях, используя всю имеющуюся информацию для предупреждения предприятий, складов и клиентов о различных рисках, и участвовать в действиях, уменьшающих эти риски. Мониторинг статуса транспортных единиц и ожидаемые внешние воздействия во время выполнения заказа, а также возможность изменения планов в режиме реального времени, будут полезными для компаний, которые стремятся использовать свои цепочки поставок для достижения конкурентного преимущества и более тщательно управлять многими рисками, связанными с цепочками поставок.

Со временем алгоритмы машинного обучения достигнут достаточного уровня («станут достаточно умными» (*smart*)), чтобы автомати-



зировать такого рода вмешательство человека, позволяя менеджерам и другим заинтересованным сторонам принимать более разумные решения ежедневно. Эти алгоритмы будут предлагать рекомендации по смягчению последствий решений из прошлого. Видимость цепочки увеличится за счет создания эффективной системы отслеживания, которая позволит участникам определять статус любого параметра отгруженного товара в любой точке его путешествия любым видом транспорта.

Транспортные данные и информация о состоянии процесса будут поступать из системы планирования ресурсов предприятия, а также от перевозчиков, либо через прямые подключения или через сторонние порталы. GPS технология будет позволять компаниям проверять точное местоположение, а датчики – контролировать условия окружающей среды, такие как температура и влажность, и даже обеспечивать удаленную защиту от хищений. Поскольку данные поступают из разных источников – по-

ставщиков, перевозчиков, складов, распространителей – их качество и функциональная совместимость имеют решающее значение.

Одно из самых важных достижений и преимуществ от предложенной расширенной архитектурной модели – большая перспектива для появления новых сервисов, которые впоследствии смогут развиваться уже как самостоятельные экосистемы, взаимодействуя с другими, внешними экосистемами. Образуя такие «сети экосистем», экосистемы сами по себе служат драйверами для развития новых услуг, сервисов и, возможно, целых новых перспективных технологических решений. Модель расширенной архитектуры взаимодействия цифровых экосистем в цепочках поставок представлена ниже на Рис. 2.

Эта модель воплощает принципы распределенных вычислений и построения высоконагруженных систем класса больших данных (Big Data) на базе *Lambda-архитектуры*, взяв за основу данные принципы из более ранних

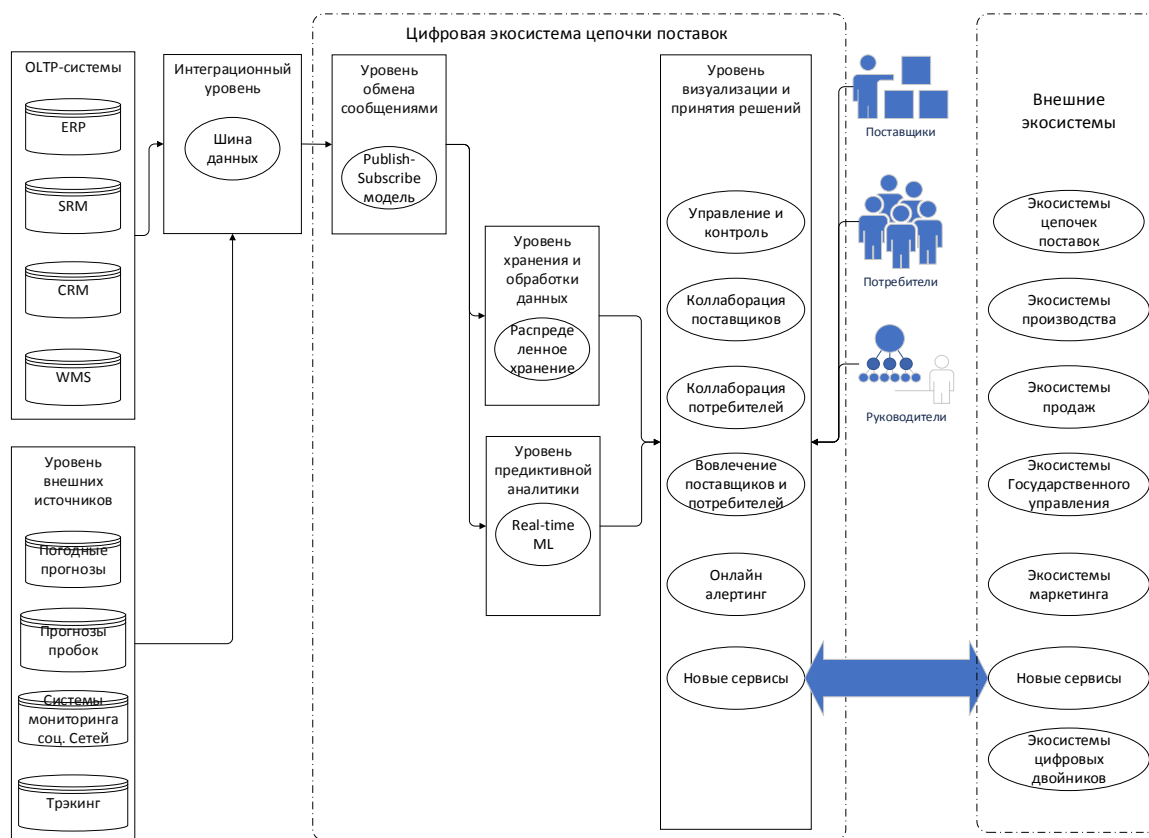


Рис. 2. Модель расширенной архитектуры взаимодействия цифровых экосистем цепочки поставок

работ для построения фреймворка для мониторинга мобильных сетей [34]. Лямбда-архитектура – это универсальная масштабируемая отказоустойчивая архитектура обработки данных, предназначенная для пакетных сценариев и сценариев сокращения задержек. Она обеспечивает эффективную обработку больших наборов данных на основе использования уровней: пакетной обработки, потоковой обработки и обслуживания, что минимизирует задержки, связанные со скоростью выполнения запросов на большие данные.

Интеграционный уровень служит единой точкой входа для всех входящих потоков информации для обмена данными между различными экосистемами (агентами), приводя все данные к единому формату с использованием единых протоколов передачи данных, а также выполняя проверку качества данных на наличие обязательных полей интеграции между экосистемами. Уровень обмена сообщениями, в свою очередь, необходим для возможности доступа к одним и тем же данным различным подписчикам, или потребителям данных. Это позволит использовать данные для построения различных моделей управления как в реальном времени, так и с помощью пакетной загрузки данных, загружать их в хранилище или *озеро данных* (Data Lake) для последующего анализа, визуализации и построения других моделей, не требующих постоянного онлайн-изменения модели. «Озеро данных» (data lake) представляет собой хранилище большого объема неструктурированных данных, генерированных или собранных одной компанией или предприятием, хранящихся, как правило, в несистематизированном виде.

Уровень визуализации и принятия решений позволяет принимать решения на основе данных – результата анализа, визуализации данных или результатов построенных предиктивных моделей машинного обучения – в режиме как реального времени, так и «оффлайн». Лица, принимающие решения, осуществляют контроль и управление реальной системой на основе полученных результатов анализа и сигнальных сообщений (модуля алертинга) в режиме реального времени, а также вовлекают поставщиков и потребителей в принятие таких

решений, которые, в свою очередь, образуют коллаборации для получения максимального экономического эффекта от совместной деятельности. Так образуются новые сервисы, которые впоследствии служат драйвером для развития других новых сервисов. Такая модель становится автономной, самообучающейся и самоорганизующейся.

## Заключение

Цепочки поставок представляют собой чрезвычайно сложные организмы, и эффективность организации их взаимодействия, обеспечение прозрачности, гибкости и масштабируемости напрямую влияет на успешность развития таких систем. Цифровизация приводит к появлению экосистем и их созданию в области цепочек поставок – для обеспечения целостности, прозрачности, мониторинга, управления и контроля для всего жизненного цикла продукта – от выбора поставщика, производства, складирования, распределения и доставки – до конечного потребителя. Цифровые экосистемы способны не только повысить эффективность процесса и сделать его более прозрачным на всех этапах и для всех вовлеченных субъектов, но также приводят к появлению новых сервисов, способных развиваться как отдельная экосистема, взаимодействуя с другими внешними экосистемами.

## Литература

1. © 2018 Международный банк реконструкции и развития / Всемирный банк 1818 H Street NW, Washington DC <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30584/AUS0000158-RU.pdf?sequence=4&isAllowed=yMark>
2. Manolis Babiolakis “Forget Products. Build Ecosystems. How products are transforming to open interconnectable interfaces”. <https://medium.com/@manolisbabiolakis/forget-products-build-ecosystems-792dea2cc4f2>
3. Prince Kwame Senyo, Kecheng Liu, John Effah. Understanding Behaviour Patterns of Multi-agents in Digital Business Ecosystems: An Organisational Semiotics Inspired Framework. DOI: 10.1007/978-3-319-94709-9\_21. In book: Advances in Human Factors, Business Management and Society Publisher: Springer, Cham, 2018.
4. Vapnik V.N. Statistical learning theory. — N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1998
5. «Индустрия 4.0»: создание цифрового предприятия. Всемирный обзор реализации концепции «Индустрия

- 4.0» за 2016 год. URL: [http://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global\\_industry-2016\\_rus.pdf](http://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global_industry-2016_rus.pdf).
6. S.J. Qin, T.A.Badgwell. MPC. 4th generation. MPC. Fig. 1. Approximate genealogy of linear MPC algorithms. / *Control Engineering Practice* 11 (2003) 733–764.
  7. Nachira F., Dini P., Nicolai A.A. Network of Digital Business Ecosystems for Europe: Roots, Processes and Perspectives. Digital Business Ecosystems. Bruxelles: European Commission, 2007.
  8. Chang E., West M. Digital Ecosystems: A Next Generation of the Collaborative Environment. iiWAS, 2006, pp.3–24.
  9. Dong H., Hussain F.K., Chang E. An Integrative view of the concept of Digital Ecosystem. Proceedings of the Third International Conference on Networking and Services. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007, pp. 42–44.
  10. Baker K.S., Bowker G.C. Information ecology: open system environment for data, memories, and knowing // *J. Intell. Inf. Syst.*, 2007, vol. 29, no. 1, pp. 127–144.
  11. Kastel's M. Informatsionnaia epokha. Ekonomika, obshchestva, kul'tura. M.: GU VShE, 2000. 129 h. (rus)
  12. Fuller M. Media Ecologies: Materialist Energies in Art and Technoculture (Leonardo Books). The MIT Press, 2007.
  13. Papaioannou T., Wiold D., Chataway J. Knowledge ecologies and ecosystems. An empirically grounded reflection on recent developments in innovation systems theory // *Environment and Planning C: Government and Policy*, 2009, vol. 27, no. 2, pp. 319–339.
  14. Dmitry A. Ivanov, Suresh P. Sethi, Alexandre Dolgui, Boris V. Sokolov: A survey on control theory applications to operational systems, supply chain management, and Industry 4.0. *Annual Reviews in Control* 46: 134-147 (2018).
  15. S. Seuring, “A review of modeling approaches for sustainable supply chain management,” *Decis. Support Syst.*, vol. 54, no. 4, pp. 1–8, 2012.
  16. M. L. Markus and C. Loebbecke, “Commoditized digital processes and business community platforms: new opportunities and challenges for digital business strategies,” *Mis Q.*, vol. 37, no. 2, pp. 649–654, 2013.
  17. M. Iansiti and R. Levien, “Strategy as Ecology,” *Harv. Bus. Rev.*, vol. 82, no. 3, pp. 68–81, 2004.
  18. M. E. Porter, *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press, 1985.
  19. M. Brandenburger and H. W. J. Stuart, “Value-based business strategy,” *J. Econ. Manag. Strateg.*, no. 5, pp. 2–25, 1996.
  20. M. Christopher, *Logistics and Supply Chain Management*. Financial Times, 1992.
  21. M. Pagani, “Digital Business Strategy and Value Creation: Framing the Dynamic Cycle of Control Points,” *MIS Q.*, vol. 37, no. 2, pp. 617–632, 2013.
  22. Averian, “Supply Chain Modelling as digital ecosystem”. International Scientific Conference ITEMА, Budapest, Hungary. October 26, 2017.
  23. Dolgui, D. Ivanov, M. Rozhkov. Does the ripple effect influence the bullwhip effect? An integrated analysis of structural and operational dynamics in the supply chain. INCOM 2018, IFAC-PapersOnLine 51 (11): 1448–1452.
  24. G. Briscoe and P. De Wilde, “Digital Ecosystems: Evolving Service-Orientated Architectures,” 2006 1st Bio-Inspired Model. Network, Inf. Comput. Syst., 2006.
  25. H. Boley and E. Chang, “Digital ecosystems: Principles and semantics,” *Proc. 2007 Inaug. IEEE-IES Digit. Ecosyst. Technol. Conf. DEST 2007*, pp. 398–403, 2007.
  26. E. Chang and M. West, “Digital Ecosystems and comparison to existing collaboration environment,” *WSEAS Trans. Environ. Dev.*, vol. 2, no. 11, pp. 1396–1404, 2006.
  27. E. Chang and M. West, “Digital Ecosystems A Next Generation of the Collaborative Environment,” *Eight Int. Conf.*, vol. 214, pp. 3–23, 2006.
  28. L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, N. Galeano, and A. Molina, “Collaborative networked organizations - Concepts and practice in manufacturing enterprises,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 57, no. 1, pp. 46–60, 2009.
  29. W. E. Walsh and M. P. Wellman, “Modeling Supply Chain formation in Multiagent Systems,” vol. 1788, pp. 94–101, 1999.
  30. W. E. Walsh and M. P. Wellman, “Decentralized Supply-Chain Formation: A Market Protocol and Competitive Equilibrium Analysis,” *J. Artif. Intell. Res.*, vol. 19, pp. 513–567, 2003.
  31. V. Roto, M. Heikkilä, “Design for Value in a Digital Supply Chain Ecosystem”. Conference: New Value Transactions - Understanding and Designing for Distributed Autonomous Organisations. Edinburgh, UK. June, 2017.
  32. Cargo Stream, <https://www.cargostream.net/>.
  33. Ожиганова М.С., Рудская Е.Н. Роль блокчейн-технологии в развитии платежных систем/ Вектор экономики, [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru) | СМИ ЭЛ № ФС 77-66790, ISSN 2500-3666] №11, 2018.
  34. Suleykin, A., Panfilov, P. (2019) Distributed Big Data Driven Framework for Cellular Network Monitoring Data, Proceedings of the 24th Conference of Open Innovations Association FRUCT, Moscow, Russia, pp.430-436, S. Balandin, V. Deart, T. Tyutina (Eds.), Published by FRUCT Oy, ISSN 2305-7254, ISBN 978-952-68653-8-6, Helsinki, Finland, ©2019. e-ISSN 2343-0737 (license CC BY-ND), DOI: 10.23919/FRUCT.2019.8711912.

**Бахтадзе Наталья Николаевна** – д.т.н., профессор, зав. лабораторией Идентификации систем управления Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН. Количество публикаций: 216. Область научных интересов: теория управления, идентификация систем управления, интеллектуальный анализ данных. Окончила Московский государственный институт электроники и математики в 1979 г. E-mail: [sung7@yandex.ru](mailto:sung7@yandex.ru)

**Судейкин Александр Сергеевич** – аспирант Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН. Окончил магистратуру НИУ Высшая школа экономики в 2016 г. Автор 4 публикаций. Область научных интересов: информационные технологии и автоматизированные системы управления. E-mail: [aless.sull@mail.ru](mailto:aless.sull@mail.ru)

## Architecture Models of Supply Chain Management Digital Ecosystem

A. S. Suleikin, N. N. Bakhtadze

V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Abstract.** Digitalization and its penetration into the field of supply chain management are developing rapidly, and digital ecosystems of supply chains are emerging - integrated platforms for monitoring, planning and management in the supply chain. The paper provides an overview of the main results of research on the creation of digital ecosystems in the field of supply chains, a description of the business model is presented, as well as a model of general and advanced architectural interaction of information flows between different classes of systems and within the digital ecosystem itself. The main advantages of developing such ecosystems for companies and enterprises are presented.

**Keywords:** digital ecosystems, supply chains, ecosystem architecture model, services.

DOI 10.14357/20718632190403

### References

- © 2018 International Bank for Reconstruction and Development/ World Bank 1818 H Street NW, Washington DC <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30584/AUS0000158-RU.pdf?sequence=4&isAllowed=yMark>
- Manolis Babiolakis "Forget Products. Build Ecosystems. How products are transforming to open interconnectable interfaces". <https://medium.com/@manolisbabiolakis/forget-products-build-ecosystems-792dea2cc4f2>
- Prince Kwame Senyo, Kecheng Liu, John Effah. Understanding Behaviour Patterns of Multi-agents in Digital Business Ecosystems: An Organisational Semiotics Inspired Framework. DOI: 10.1007/978-3-319-94709-9\_21. In book: *Advances in Human Factors, Business Management and Society* Publisher: Springer, Cham, 2018.
- Vapnik V.N. *Statistical learning theory*. — N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1998
- "Industry 4.0": the creation of a digital enterprise. Global review of the implementation of the Industry 4.0 concept for 2016. URL: [http://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global\\_industry-2016\\_rus.pdf](http://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global_industry-2016_rus.pdf).
- S.J. Qin, T.A.Badgwell. MPC. 4th generation. MPC. Fig. 1. Approximate genealogy of linear MPC algorithms. / *Control Engineering Practice* 11 (2003) 733–764.
- Nachira F., Dini P., Nicolai A.A. *Network of Digital Business Ecosystems for Europe: Roots, Processes and Perspectives*. Digital Business Ecosystems. Bruxelles: European Commission, 2007.
- Chang E., West M. *Digital Ecosystems: A Next Generation of the Collaborative Environment*. iiWAS, 2006, pp. 3–24.
- Dong H., Hussain F.K., Chang E. An Integrative view of the concept of Digital Ecosystem. *Proceedings of the Third International Conference on Networking and Services*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007, pp. 42–44.
- Baker K.S., Bowker G.C. Information ecology: open system environment for data, memories, and knowing // *J. Intell. Inf. Syst.*, 2007, vol. 29, no. 1, pp. 127–144.
- Kastel's M. *Informatsionnaia epokha. Ekonomika, obshchestva, kul'tura*. M.: GU VSHe, 2000. 129 s. (in russian)
- Fuller M. *Media Ecologies: Materialist Energies in Art and Technoculture* (Leonardo Books). The MIT Press, 2007.
- Papaioannou T., Wiold D., Chataway J. Knowledge ecologies and ecosystems. An empirically grounded reflection on recent developments in innovation systems theory // *Environment and Planning C: Government and Policy*, 2009, vol. 27, no. 2, pp. 319–339.
- Dmitry A. Ivanov, Suresh P. Sethi, Alexandre Dolgui, Boris V. Sokolov: A survey on control theory applications to operational systems, supply chain management, and Industry 4.0. *Annual Reviews in Control* 46: 134-147 (2018).
- S. Seuring, "A review of modeling approaches for sustainable supply chain management," *Decis. Support Syst.*, vol. 54, no. 4, pp. 1–8, 2012.
- M. L. Markus and C. Loebbecke, "Commoditized digital processes and business community platforms: new opportunities and challenges for digital business strategies," *Mis Q.*, vol. 37, no. 2, pp. 649–654, 2013.
- M. Iansiti and R. Levien, "Strategy as Ecology," *Harv. Bus. Rev.*, vol. 82, no. 3, pp. 68–81, 2004.
- M. E. Porter, *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press, 1985.
- A. M. Brandenburger and H. W. J. Stuart, "Value-based business strategy," *J. Econ. Manag. Strateg.*, no. 5, pp. 2–25, 1996.
- M. Christopher, *Logistics and Supply Chain Management*. Financial Times, 1992.
- M. Pagani, "Digital Business Strategy and Value Creation: Framing the Dynamic Cycle of Control Points," *MIS Q.*, vol. 37, no. 2, pp. 617–632, 2013.

22. A. Averian, "Supply Chain Modelling as digital ecosystem". International Scientific Conference ITEMА, Budapest, Hungary. October 26, 2017.
23. A. Dolgui, D. Ivanov, M. Rozhkov. Does the ripple effect influence the bullwhip effect? An integrated analysis of structural and operational dynamics in the supply chain. INCOM 2018, IFAC-PapersOnLine 51 (11): 1448–1452.
24. G. Briscoe and P. De Wilde, "Digital Ecosystems: Evolving Service-Orientated Architectures," 2006 1st Bio-Inspired Model. Network, Inf. Comput. Syst., 2006.
25. H. Boley and E. Chang, "Digital ecosystems: Principles and semantics," Proc. 2007 Inaug. IEEE-IES Digit. Ecosyst. Technol. Conf. DEST 2007, pp. 398–403, 2007.
26. E. Chang and M. West, "Digital Ecosystems and comparison to existing collaboration environment," WSEAS Trans. Environ. Dev., vol. 2, no. 11, pp. 1396–1404, 2006.
27. E. Chang and M. West, "Digital Ecosystems A Next Generation of the Collaborative Environment," Eight Int. Conf., vol. 214, pp. 3–23, 2006.
28. L. M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, N. Galeano, and A. Molina, "Collaborative networked organizations - Concepts and practice in manufacturing enterprises," Comput. Ind. Eng., vol. 57, no. 1, pp. 46–60, 2009.
29. W. E. Walsh and M. P. Wellman, "Modeling Supply Chain formation in Multiagent Systems," vol. 1788, pp. 94–101, 1999.
30. W. E. Walsh and M. P. Wellman, "Decentralized Supply-Chain Formation: A Market Protocol and Competitive Equilibrium Analysis," J. Artif. Intell. Res., vol. 19, pp. 513–567, 2003.
31. V. Roto, M. Heikkilä, "Design for Value in a Digital Supply Chain Ecosystem". Conference: New Value Transactions - Understanding and Designing for Distributed Autonomous Organisations. Edinburgh, UK. June, 2017.
32. Cargo Stream. (<https://www.cargostream.net/>).
33. Ozhiganova M.S, Rudskaya E. N. The role of blockchain technology in the development of payment systems/ Vector of Economics, [www.vectoreconomy.ru](http://www.vectoreconomy.ru) | ISSN 2500-3666, №11, 2018.
34. Suleykin, A., Panfilov, P. (2019) Distributed Big Data Driven Framework for Cellular Network Monitoring Data, Proceedings of the 24th Conference of Open Innovations Association FRUCT, Moscow, Russia, pp.430-436, S. Balandin, V. Deart, T. Tyutina (Eds.), Published by FRUCT Oy, ISSN 2305-7254, ISBN 978-952-68653-8-6, Helsinki, Finland, ©2019. e-ISSN 2343-0737 (license CC BY-ND), DOI: 10.23919/FRUCT.2019.8711912.

**Bakhtadze N. N.** professor, head of Identification laboratory of V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, 65 Profsoyuznaya st., Moscow, 117997, Russia. Number of publications: 216. Research interests: control theory, identification of control systems, data mining. Graduated from Moscow State Institute of Electronics and Mathematics in 1979. E-mail: [sung7@yandex.ru](mailto:sung7@yandex.ru)

**Suleykin A. S.** graduate student of V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, 65 Profsoyuznaya st., Moscow, 117997, Russia. He graduated from the magistracy of the National Research University Higher School of Economics in 2016. Author of 4 publications. Research interests: information technology and automated control systems. E-mail: [aless.sull@mail.ru](mailto:aless.sull@mail.ru)