

УМНАЯ ЭКОНОМИКА ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА: ОСНОВА ЦИФРОВЫХ СТРАТЕГИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПАНИЙ.

Часть 1. Технологическая синергия Индустрии 4.0

Аронов И.З., д-р техн. наук, проф., Московский государственный институт международных отношений (университет), ФГБУ «РСТ»

Бурый А.С., д-р техн. наук, директор департамента, ФГБУ «РСТ»

Рыбакова А.М., канд. биол. наук, доцент, Московский государственный институт международных отношений (университет), ФГБУ «РСТ»

Рассматриваются направления совершенствования концепции устойчивого развития общества на основе внедрения идей экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ). Предлагается синхронизировать динамику бизнес-процессов, социального развития общества и механизмы экологического менеджмента на основе интеллектуализации производственных процессов в рамках инновационных технологий Индустрии 4.0. Синергетический эффект от внедрения в бизнес-модели ЭЗЦ цифровых технологий, направленных на реализацию мобильности, облачности, методов машинного обучения, нового межмашинного интерфейса на базе беспроводных устройств позволит радикально изменить производственные цепочки создания стоимости, повышая этим качество социосферы.

Целью данной работы является совершенствование научной и методической базы при разработке концептуального подхода к формированию структур информационного взаимодействия функциональных подсистем, процессов и элементов экономики замкнутого типа на базе технологий Индустрии 4.0 при решении задач промышленного симбиоза и формирования новых бизнес-моделей.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла, устойчивое развитие, промышленный симбиоз, технологии Индустрии 4.0, информационный агент, агентная модель.

ВВЕДЕНИЕ

Динамика развития современного общества во многом определяется расширением процессов глобализации, что наиболее ярко проявляется в борьбе за лидерство в формируемом едином общемировом информационном пространстве. Развитые страны мира постепенно осуществляют переход от индустриальной к информационной цивилизации и находятся сейчас на этапе формирования экономики, основанной на знаниях. Компьютерная интеграция производства, охватывающая все стадии жизненного цикла (ЖЦ) промышленной продукции, характеризуется переходом к сетевым производственным структурам, когда интегрируются ЖЦ продукции, данные и знания о продукции и ЖЦ собственно предприятия, выпускающего данную продукцию. Эти процессы составляют суть четвертой промышленной революции, получившей название Индустрия 4.0 [1], в основе которой лежит

идея непрерывной автоматизации традиционных производственных практик и бизнес-процессов, включая межмашинные коммуникации – М2М, Интернет вещей (ИВ), массовое внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и распространение искусственного интеллекта (ИИ).

В этих условиях все большую роль приобретают междисциплинарные исследования [2], построенные на основе анализа разнообразных данных и направленные на выявление неожиданных идей, оригинальных решений, синергетических эффектов, которые могут стать основой новых технологий, обеспечивающих максимальную эффективность для экономики страны с целью обеспечения ее устойчивого развития [3].

Внедрение Индустрии 4.0 нацелено на оптимизацию производства на базе новых гибридных бизнес-моделей

и использование информационных и инженерных технологий, взаимодействие которых целесообразно осуществлять в едином информационном пространстве (ЕИП) [4], структурируемом в рамках стратегии цифровой трансформации общества [5]. ЕИП будем представлять в виде виртуальной реальности, в которой взаимодействуют пользователи, работники, организационные подсистемы, связанные процессами производства и применения продукции, а также программным, метрологическим и техническим обеспечением информационной инфраструктуры, формируемой под заданные производственные цели.

Цифровая трансформация (ЦТ) общества нацеливает нас на масштабные изменения не только в промышленности, но и в экономике в целом:

это программы экодизайна [6] и бережливого производства [7], как бизнес-модели экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ), в которой концепция «срока службы» наполняется новым содержанием за счет факторов «восстановления и перехода к использованию возобновляемых источников энергии» [8];

это стратегии развития «умных городов», связанные с информационным перевооружением всех сфер деятельности современного города (управление, транспорт, здравоохранение, образование и др.) [9, 10], с возможностью интегрирования на информационном уровне функциональных подсистем города для решения целевых задач [11] (управление пассажиропотоками, информационная поддержка задач здравоохранения в критических ситуациях, безопасность граждан и ряд других).

Целью данной работы является совершенствование научной и методической базы при разработке концептуально-

го подхода к формированию структур информационного взаимодействия функциональных подсистем, процессов и элементов экономики замкнутого типа на базе технологий Индустрии 4.0 при решении задач промышленного симбиоза и формирования новых бизнес-моделей.

ЦИРКУЛЯРНАЯ ЭКОНОМИКА В ИНТЕГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ

Задачи и цели устойчивого развития экономики требуют использования для их решения системного подхода, обеспечивающего интеграцию экономической и социальной сфер для защиты окружающей среды (экологии). Устойчивое развитие определяется как минимизация потребления мировых ресурсов за счет улучшения экологических показателей в течении ЖЦ продукции. Именно поэтому целью ЭЗЦ является повышение общественной ценности продуктов, материалов и ресурсов с течением времени, за счет внедрения дополнительных циклов переработки, обслуживания для продления ЖЦ продукции. На рис. 1 показаны области знаний (социальные, экономические и экологические), определяющие устойчивость развития общества, а также представлены некоторые направления исследований, которые образуются на стыке взаимодействия между данными областями. Так выделены экономико-экологические риски, связанные с вероятностью финансовых потерь вследствие осуществления экономико-экологических процессов. Рассматриваемая агрегированная модель подчеркивает междисциплинарные области знаний, как например, управление цепочками поставок, экономика совместного использования, умные города и другие процессы, возникающие в смежных областях, требующие решения задач интеграции ресурсов, технологий, инфраструктуры, а также развития соответствующих систем управления.



Рис. 1. Интеграция сфер деятельности в задачах устойчивого развития

Для реализации концепции устойчивого научно-технического развития с целью укрепления нынешнего и будущего потенциала общества в рамках ЭЗЦ разрабатываются следующие бизнес-модели [10]:

1. Циркулярные поставщики (поставка полностью перерабатываемых или биоразлагаемых ресурсов).
2. Модель восстановления ресурсов (отказ от потерь невозстановливаемых ресурсов ввиду образования отходов).
3. Продление срока службы продукта (за счет его ремонта, модернизации, реконструкции или восстановления).
4. Платформы для обмена и совместного пользования.
5. Продукт как услуга (повышает стимулы для создания долговечной продукции).

Кроме того существует ряд моделей, включая и перечисленные, которые приобрели статус целевых «драйверов» развития ЭЗЦ или обязательных организационных процедур. К ним следует отнести экодизайн, вторичную переработку использованной продукции, возвратную логистику, каршеринг, развитие рынков формата C2C [8].

ИНДУСТРИЯ 4.0 КАК ФАКТОР ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Комплексная трансформация экономики основывается на использовании цифровых технологий и приложений, направленных на улучшение существующих процедур, процессов и структур производства продукции, на внедрение новых бизнес-моделей, на формирование в обществе условий и понимания необходимости устойчивого развития. Именно четвертая промышленная революция, впервые заявленная в Германии для поддержки автоматизации производства и интеграции производственных отраслей, получившая название Индустрия 4.0, своей стратегической целью наметила достижение устойчивости развития общества.

Индустрия 4.0 – это адаптируемая система, которая автоматически настраивает гибкие производственные линии для различных типов продукции в соответствии с изменяющимися условиями. Это может повысить качество, гибкость и производительность, что приведет к созданию индивидуальных товаров с меньшим потреблением ресурсов, используя системы разнотипных данных в контурах управления ресурсами.

Рассмотрим информационные технологии, предлагаемые и разрабатываемые в ходе ЦТ, на базе которых возможна интеграция технологий Индустрии 4.0 (И 4.0) и направлений развития ЭЗЦ (например, при разработке соответствующих бизнес-моделей).

И 4.0 предоставляет новые возможности взаимодействия между человеком и машиной в условиях интеллектуальной производственной среды, основанной на ки-

берфизических системах (КФС), которая сочетает в себе технологии ИВ в рамках моделей горизонтальной и вертикальной системной интеграции. Технологическая основа включает такие ключевые элементы, как аддитивное производство, дополненная реальность, искусственный интеллект, большие данные, интеграция систем моделирования, автономные роботы, кибербезопасность и облачные вычисления [4, 5]. Методы И 4.0 несут в себе возможности сокращения энергии, оборудования, а также минимизации человеческих ресурсов.

Подходы, принятые И 4.0, позволяют связать устойчивое производство и ЭЗЦ, демонстрируя определенную взаимную поддержку. Действительно, И 4.0 можно рассматривать как синергетическую среду, необходимую для достижения целостной интегрированной устойчивости производственных систем и концепции ЭЗЦ [12].

В Программе "Цифровая экономика Российской Федерации"¹ для поддержки развития цифровой среды названы основные сквозные цифровые технологии и разрабатываемые на их основе новые платформы и технологии:

- большие данные;
- нейротехнологии и искусственный интеллект (ИИ);
- системы распределенного реестра (СРР);
- квантовые технологии;
- новые производственные технологии;
- промышленный интернет;
- компоненты робототехники и сенсорики;
- технологии беспроводной связи;
- технологии виртуальной и дополненной реальности.

Цифровизация дает нам возможность заново переосмыслить наше отношение к природным ресурсам. Приложения ИВ усиливают связи между устройствами, собирая данные о вещах и людях. Блокчейн (в составе СРР) обеспечивает большую прозрачность, безопасность и контроль местоположения объектов. ИИ позволяет проводить интеллектуальный анализ данных с большей точностью, повышая эффективность использования ресурсов и вычислительных мощностей, обеспечивая заданную периодичность проводимого сервисного обслуживания, открывая новые резервы за счет цифровых технологий.

Важным стимулом ускорения развития производства явилось принятие Росстандартом «Перспективного плана стандартизации в области передовых производственных технологий на 2018–2025 годы» (далее – План).

Первоначально План предусматривал разработку свыше 70 нормативно-технических документов, регулирую-

¹ Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р).

ских сквозные технологии современной цифровой промышленности. Разработка стандартов позволит снять технические барьеры при внедрении передовых производственных технологий на территории России, а также повысить конкурентоспособность российских компаний и выпускаемой продукции. Среди представленных направлений в Плане:

- 1) в области Интернета вещей – 32 стандарта;
- 2) в области Больших данных – 8 стандартов;
- 3) в области искусственного интеллекта – 9 стандартов;
- 4) в области умного производства – 19 стандартов;
- 5) в области КФС – 4 стандарта.

В дальнейшем количество планируемых стандартов увеличено до 120.

Стандартизация в рассматриваемых областях, в которых большинство разрабатываемых технологий имеют инновационный характер, кроме отмеченных выше задач, создают терминологическую базу для проектно-конструкторской работы.

Тем не менее, построение и понимание взаимосвязей между технологиями И 4.0 и устойчивостью не является тривиальной задачей, так как существующая неопределенность и нехватка знаний требует развития исследований взаимодействия рассматриваемых предметных областей (рис. 1).

В целом ожидается, что преимущества Индустрии 4.0 для устойчивого развития будут заключаться:

- a) в повышении производительности, гибкости и эффективности использования ресурсов (например, использование больших данных для планирования обслуживания производственных мощностей и быстрой реконфигурации производственных систем на основе моделирования и виртуализация производства);
- b) в сокращении отходов, потребления энергии и перепроизводства (например, за счет перераспределения излишков возобновляемой энергии между участниками производственных цепочек);
- c) в создании сетевых производственных структур путем симбиоза различных производств и заинтересованных сторон (например, замкнутые производственные системы, соединяющие машины, информационные системы, продукты и людей в единые сетевые структуры, используя датчики в продуктах, в процессах, в логистических структурах, встроенные системы, робототехнику и автоматизацию);
- d) в создании условий по трудоустройству, связанные с ИТ-компетенциями и, как следствие, улучшению качества рабочей среды.

Развитие симбиотического взаимодействия в контексте понимания процессов и обмена знаниями между участниками промышленного симбиоза – формы совместного пар-

тернства между компаниями, приводящие к совместному использованию ресурсов или обмену материальными или энергетическими побочными продуктами [13], включая:

- обмен отходами: материалы продаются или передаются безвозмездно для переработки другой фирме;
- обмен материальными ресурсами внутри одного объекта, но между разными процессами;
- коллаборацию предприятий внутри одной отрасли по обмену материалами и ресурсами;
- кросс-отраслевое взаимодействие на территории крупного региона;
- межрегиональные потоки ресурсов.

Для обеспечения условий взаимодействия отраслей, предприятий, отдельных производственных структур и современных робототехнических систем требуется предварительная работа по согласованию потоков данных, циркулирующих в названных организационных структурах, разработка методов по извлечению информации из данных и далее – формирование новых знаний для управления.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ В АГЕНТНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ СЛОЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Отметим, что помимо известных успехов в области цифровых технологий в различных сферах применения, в экономике замкнутого цикла еще предстоит решать ряд важных задач, связанных с интеграцией программных и аппаратных технологий, проблемами доступа к данным и стандартам данных, а также функциональной совместимостью между технологиями.

Концепция Индустрии 4.0 связана с техническими перспективами: киберфизическими системами (КФС), интегрированными в производственные операции, с технологиями ИВ, участвующими в процессах генерирования данных при контроле условий хранения грузов, включая температуру, давление, влажность и другие параметры, связанные с качеством и состоянием продукции, которые формируют сегодня понятия «умная фабрика», «умные продукты». Люди, машины и ресурсы связаны вертикально, в то время как компании связаны горизонтально по всей цепочке создания стоимости.

Рассмотрим соотношение понятий данные – информация – знания, основываясь на известной пирамиде знаний Р. Акоффа [14], представленные в таблице.

На основании первичных устройств (датчиков, элементов ИВ, регистраторов и т. п.) формируются измерительные данные. Сами по себе данные (массивы данных) не имеют интерпретации и нуждаются в контекстуализации, чтобы представлять непосредственную ценность или удобство использования.

Совместное представление данных, функциональных и информационных ресурсов

УРОВНИ ТРАНСФОРМАЦИИ ДАННЫХ	ХАРАКТЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ	ПРОЦЕССЫ, ПОТОКИ ДАННЫХ
1. Данные	Массивы данных	Сбор данных
2. Информация	Описательный	Интеграция данных
3. Знания	Диагностический	
4. Познание, сознание	Исследовательский	ИАД, машинное обучение; глубокое обучение; онтологические структуры
5. Когнитивные аспекты	Прогнозный	

На основании первичных устройств (датчиков, элементов ИВ, регистраторов и т. п.) формируются измерительные *данные*. Сами по себе данные (массивы данных) не имеют интерпретации и нуждаются в контекстуализации, чтобы представлять непосредственную ценность или удобство использования.

Информация – выводится или преобразуется из данных с помощью таких методов, как агрегирование, интерпретация, отбор и сортировка, что может проходить на синтаксическом, семантическом и прагматическом уровнях в форме получаемых отдельных описаний. Таким образом, информация содержится в описаниях и дает ответы на вопросы: *кто?, что?, где? и когда?*

Знание – представляет собой преобразование информации в действенные инструкции, в ценную информацию, проведя диагностику, а также отвечает на такие вопросы, как «как» и «почему». Таким образом, знание можно рассматривать как уточнение информации с помощью семантических отношений или правил вывода и улучшение понимания, то есть рецепт супа – это информация, а приготовленный по этому рецепту суп – это полученное знание.

Познание, понимание (мудрость) – связывает действенные инструкции знаний с автономными решениями и действиями. Понимание смысла сочетает знание с интерактивными процессами и адаптивным суждением. Интерактивные процессы – это последовательность действий и реакций, а адаптивное суждение – это фактическое решение, принятое на основе оценки интерактивных процессов и их текущего состояния.

Когнитивный аспект – это то, что на сегодня не имеет достаточно четкой интерпретации. Основной эффект на этом уровне должен заключаться в четком обосновании путей дальнейшего развития производства, экономики с учетом разрешения конфликтов, изменения

социальных факторов, многокритериального подхода, форсайт-исследований, направленных на выявление долговременных трендов и скоординированное на их основе принятие решения [15]. Подобные прогнозы на основе вычислительных моделей известны и уже не один десяток лет делаются в различных научных областях с той или иной точностью.

Наиболее существенных результатов в последнее время удается получить в ходе интеллектуального анализа данных (ИАД) [5], реализации методов машинного обучения, глубокого обучения, структурируя наши знания, адаптируя разрабатываемые системы к изменениям внешней среды, но при этом максимально сохраняя окружающую среду. Однако, наиболее существенные результаты удается получить, когда открываются синергетические эффекты или системные факторы в результате взаимодействия свойств, например, технологий ИИ 4.0 и бизнес-моделей ЭЗЦ.

Агентное моделирование (АМ) – один из наиболее подходящих методов для изучения сложных систем, состоящих из различных сущностей, взаимодействующих между собой. Каждая сущность моделируется как агент, которому предоставляется заданный набор целей для достижения через взаимодействие с другими агентами и окружающей средой, управляемое заданным набором правил информационной и социальной активности. Любой автономный агент должен обладать следующими свойствами [2, 11]: реактивности, автономности, целенаправленности, коммуникативности, обучаемости, мобильности, гибкости и индивидуальности.

Агентно-ориентированный подход находит применение в задачах телекоммуникации, реинжиниринга предприятий, построения электронного бизнеса, а также при моделировании социальных сетей, анализе потребительского поведения, а в контексте ЭЗЦ – при изучении промышленного симбиоза и других бизнес-моделей циркулярной экономики [16].

Типовую структуру инвариантного контура управления производственным процессом будем представлять в виде совокупности взаимосвязанных типовых подсистем (ПС) распределенной управляющей системы [9, 11, 17], причем включая и сами объекты управления:

- 1 – ПС1 объекта управления, в частности отдельной КФС;
- 2 – ПС2 подсистемы подготовки и принятия решений;
- 3 – ПС3 измерения, сбора данных и контроля объекта управления;
- 4 – ПС4 оценивания и интеллектуального анализа данных;
- 5 – ПС5 координации и управления.

Под агентом будем понимать принятое в объектно-ориентированном программировании представление интеллектуального агента в виде некоторого метаобъекта, способного манипулировать другими информационными объектами, формировать собственные программы действий для достижения поставленной цели.

Выделим следующие типы агентов:

A_H – агент-наблюдатель, формирующий массивы данных входной информации от объектов наблюдения, в частности КФС, структура которых инвариантна к контролируемому процессу, то есть содержит подобные основным подсистемам блоки 1.1 – 1.5 (см. рис. 2), взаимодействуя с основными подсистемами через блок 1.5 координации и управления посредством агента-координатора – A_K , обеспечивающего поступление данных от сенсоров, видеорегистраторов и различных измерителей непосредственно в ПС 4 (обработки и ИАД);

$A_{И}$ – агент-исполнитель организует внешнее управление объектами, например КФС (выдает отдельные команды, закладывает программы управления для сенсоров и иных исполнительных устройств);

$A_{ОД}$ – агент обработки данных осуществляет переработку данных, взаимодействие с базой данных и знаний;

A_K – агент-координатор поддерживает часть запросов, необходимых для выполнения работ на уровне подсистем, обеспечивая управление агентами перечисленными агентами, а также обеспечивает сетевые коммуникации между отдельными системами – участниками производственного процесса;

$A_{ОУ}^i$ – агент объекта управления, $i = \overline{1, k}$ – уровень управления. На первом уровне (см. рис.2) это любая КФС со своей сенсорной системой (блок 1.1 на рис. 2), регистратором с возможностями первичной обработки (блок 1.4). Для второго уровня (технологического) выходные данные блока 1.5, являясь одновременно данными агента $A_{ОУ}^1$, поступают в ПС3 измерения и сбора данных и используются для координации и управления технологическим процессом.

ПС5 координации и управления посредством агента A_K может являться источником данных для следующего уровня управления, например, масштаба производственной линии, на другие участки которой поступают подобные данные от подрядчиков, различных служб, участвующих в общем процессе производства.

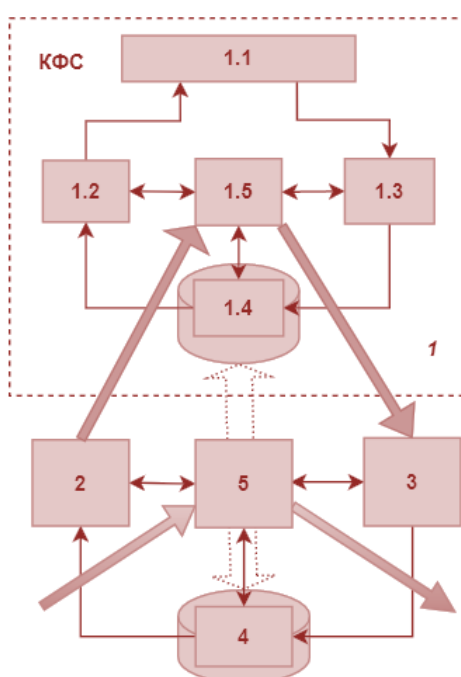


Рис. 2. Иерархическая структура управления производством (технологией, объектом)

Основная цель моделирования на основе агентов состоит в том, чтобы сформировать или пополнить уже существующую базу знаний и данных рассматриваемой предметной области (исследуемых процессов) для построения новых концепций и знаний об этих процессах, сформулировать требования к структурам, организации взаимодействия в масштабе производства, предприятия и т. д. По сравнению с традиционными методами моделирования результаты **AM** находят широкое применение при разработке стратегий развития производства, маркетинга и эксплуатации продукции. Для повышения адекватности **AM** моделируемым процессам существуют возможности расширения типов агентов в зависимости от расширения решаемых задач. Это могут быть агенты мониторинга производства, ресурсной базы, агенты планирования, поставок, закупок и другие [18], для организации взаимодействия которых требуется формирование базы данных и знаний на основе привлечения отмеченных выше технологий И 4.0.

Представим процессы взаимодействия агентов в виде следующей модели:

$$AM = (A, R, St_{ORG}), \quad (1)$$

где $A = \{a\}$ – множество разнотипных агентов; $St_{ORG} = \{st_j\}, j = \overline{1, S}$ – множество организационно-информационных структур, соответствующих различным типам производства; R – семейство базовых отношений между агентами, включающее объединение следующих трех типов отношений [2, 11]:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3, \quad (2)$$

где $R_1 = \{5 \rightarrow 2; 3 \rightarrow 5; 5 \rightarrow 4; 4 \rightarrow 5\}$ – множество горизонтальных (симметричных) отношений между рассматриваемыми ПС (на рис. 2 условно показаны номера взаимодействующих ПС); $R_2 = \{\{4^{(j)}\}; \{3^{(j)}\}; \dots\}, j = \overline{1, S}$ – множество асимметричных (сетевых) отношений любой направленности между агентами одного типа, например, для представленного на рис. 2 взаимодействия элементов распределенной по уровням базы данных и знаний «1.4» ↔ «4» для соответствующих ПС оценивания и интеллектуального анализа данных; R_3 – множество асимметричных отношений между выбранным агентом координатором A_K и вышестоящим уровнем управления. Данный вид отношений может выполнять любой агент A_K при точечном управлении выбранной КФС или технологическим процессом.

Взаимодействие (Int) агентов из множества A представим короткем вида:

$$Int = \langle A, T, Sc \rangle, \quad (3)$$

где $T = \{A_H, A_{И}, A_K, A_{ОД}, A_{ОУ}\}$ – множество типов агентов, включая агентов наблюдателей, исполнителей, координаторов, обработки данных и объекта/ (объектов) управления, соответственно; Sc – сценарии (программы), сетевые графики взаимодействия агентов, причем

$$Sc = (Com, \pi),$$

где Com – множество коммуникативных действий между агентами в соответствии со структурой, представленной на рис. 2; π – протоколы типовых действий (регистрация или измерение, запись информации, копирование данных, передача данных, отображение и др.).

Так, коммуникация $A_H \rightarrow A_K$ в обозначениях ПС есть протокол вида:

$$\pi_{3,5} = ((\text{сбор сенсорных данных}); (\text{передача метаданных}); \dots),$$

то есть последовательность действий, который фактически содержит значительно больше записей относительно представленных выше (например, резервное копирование, кодирование, повторная передача, квитирование для получателя – A_K и т. д.).

Особенностью представления **AM** в виде (1) – (3) является обеспечение независимости действий агентов в ходе выполнения функциональных задач при условии информационного, программного и технического обеспечения на уровне отдельных ПС. Данный подход позволяет расширять функционал модели, вводя дополнительных агентов в соответствии с возникающими задачами в ходе объединения различных предприятий, процессов, организуя продуктовые цепочки, формируя информационные контуры для эффективного использования ресурсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, методологической основой реализации ЭЗЦ является парадигма индустриальной экологии, в рамках которой индустриальные процессы формируются в виде потоков материалов и энергии, позволяя оценить уровень индустриального метаболизма, то есть количественные и качественные характеристики потоков ресурсов и энергии, как потребляемых самой ЭЗЦ, так и той ее части, являющейся результатом ее функционирования.

Наиболее значимых результатов планируется достигнуть за счет синергетического эффекта, как результата объединения цифровых инновационных технологий Индустрии 4.0 с бизнес-моделями экономики замкнутого цикла, обогащая последние цифровыми платформами, повышая за счет этого оперативность, мобильность и другие показатели, что предоставит новые возможности для сохранения заложенной стоимости материалов и компонентов в продуктах.

Первостепенным направлением в вопросах внедрения инновационных сквозных технологий в промышленность является разработка новых стандартов.

Подходы к формированию требований к продукции, на примере которых осуществляется переход к циркулярной экономике в сочетании с существующими ИКТ предлагается рассмотреть во второй части работы.

Список использованных источников и литературы

1. Лясковская Е.А. Индустрия 4.0 и устойчивое развитие: от устойчивых бизнес-моделей к цифровой устойчивости // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2021. Т. 15. № 4. С. 73–83. DOI: 10.14529/em210408
2. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
3. Ломакин М.И., Докукин А.В. Стандарты в парадигме устойчивого развития: потенциал в предотвращении и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 4 (62). С. 18–20.
4. Бурый А.С. Облачные вычисления в цифровой трансформации информационных технологий // Правовая информатика. 2021. № 2. С. 4–14. DOI: 10.21681/1994-1404-2021-2-04-14
5. Сибел Т. Цифровая трансформация. Как выжить и преуспеть в новую эпоху. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2021. – 256 с.
6. Аронов И.З., Рыбакова А.М. Европейский подход к регулированию вопросов проектирования изделий с учетом экологических аспектов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 3 (67). С. 15–20.
7. Хаирова С.М., Куликова О.М. Применение сентимент-анализа инструментов бережливого производства (на примере России) // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 2 (66). С. 55–61.
8. Гурьева М.А., Бутко В.В. Практика реализации модели циркулярной экономики // Экономические отношения. 2019. Т. 9. № 4. С. 2367–2384.
9. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Перспективы стандартизации информационного пространства умного города // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 2 (66). С. 4–11.
10. Пахомова Н.В., Рихтер К.К., Ветрова М.А. Переход к циркулярной экономике и замкнутым цепям поставок как фактор устойчивого развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2017. Т. 33. № 2. С. 244–268.
11. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные технологии цифровой трансформации умных городов // Правовая информатика. 2022. № 2. С. 4–13. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-2-04-13
12. Kristoffersen E., Blomsma, F., Mikalef, P., Li, J. The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies // Journal of Business Research. 2020. Vol. 120. Pp. 241–261.
13. Преображенский Б.Г., Толстых Т.О., Шмелева Н.В. Промышленный симбиоз как инструмент циркулярной экономики // Регион: системы, экономика, управление. 2020. № 4(51). С. 37–48. DOI: 10.22394/1997-4469-2020-51-4-37-48
14. Ackoff R.L. From data to wisdom. Journal of Applied Systems Analysis, 1989, vol. 16, pp. 3–9.
15. Бурый А.С. Картирование технологий как метод в форсайт-исследованиях // Транспортное дело России. 2014. № 5. С. 155–157.
16. Walzberg J., Lonca G., Hanes R.J., Eberle A.L. [et al.] Do We Need a New Sustainability Assessment Method for the Circular Economy? A Critical Literature Review // Frontiers in Sustainability. 2021. Vol. 1. P. 620047. DOI: 10.3389/frsus.2020.620047
17. Бурый А.С., Слепынцева Л.И. Цифровизация контента документов по стандартизации. Часть 2. Трансформация данных // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 6 (64). С. 12–18.
18. Oztemel E., Gursev S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies // Journal of Intelligent Manufacturing. 2020. No. 31. Pp. 127–182. DOI: 10.1007/s10845-018-1433-8

CLOSED-LOOP SMART ECONOMY: THE BASIS OF DIGITAL STRATEGIES OF MANUFACTURING COMPANIES.

Part 1. Technological synergy of Industry 4.0

Aronov I.Z., Doctor of Technical Sciences, Professor, MGIMO University, FSBI «RST»

Buryi A.S., Doctor of Technical Sciences, Director of the Department, FSBI «RST»

Rybakova A.M., Candidate of Biological sciences, assistant professor, MGIMO University, FSBI «RST»

The directions of improvement of the concept of sustainable development of society on the basis of the introduction of the ideas of the closed-loop economy (CLE) are considered. It is proposed to synchronize the dynamics of business processes, social development of society and environmental management mechanisms based on the intellectualization of production processes within the framework of innovative technologies of Industry 4.0. The synergetic effect of the introduction of digital technologies aimed at implementing mobility, cloud cover, machine learning methods, and a new machine-to-machine interface based on wireless devices into the business model of the CLE will radically change the production value chains, thereby improving the quality of the social field.

The purpose of this work is to improve the scientific and methodological basis for the development of a conceptual approach to the formation of information interaction structures of functional subsystems, processes and elements of a closed-type economy based on Industry 4.0 technologies in solving problems of industrial symbiosis and the formation of new business models.

Keywords: closed-loop economy, sustainable development, industrial symbiosis, Industry 4.0 technologies, information agent, agent model.

References

1. Lyaskovskaya E.A. Industriya 4.0 i ustojchivoe razvitie: ot ustojchiv'x biznes-modelej k cifrovoj ustojchivosti. Vestnik YuUrGU. Seriya "E'konomika i menedzhment", 2021, vol. 15, no. 4, pp. 73–83. DOI: 10.14529/em210408
2. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnyh sistem k intellektual'nym organizacijam: filosofiya, psihologiya, informatika. Moscow, Editorial URSS Publ., 2002, 352 p.
3. Lomakin M.I., Dokukin A.V. Standarty v paradigme ustojchivogo razvitiya: potencial v predotvrashchenii i likvidacii chrezvyčajnyh situacij. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2021, no. 4(62), pp. 18–20.
4. Buryi A.S. Sovershenstvovanie gosudarstvennyh informacionnyh sistem kak trend cifrovogo obshchestva. Legal informatics, 2021, no. 2, pp. 4–14. DOI: 10.21681/1994-1404-2021-2-04-14
5. Siebel T.M. Digital Transformation. Survive and Thrive in an Era of Mass Extinction. RosettaBooks, NY, 2019.
6. Aronov I.Z., Ry'bakova A.M. Evropejskij podxod k regulirovaniyu voprosov proektirovaniya izdelij s uchetom e'kologicheskix aspektov. Informacionno-e'konomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya. 2022, no. 3(67), pp. 15–20.
7. Xairova S.M., Kulikova O.M. Primenenie sentiment-analiza instrumentov berezhlivogo proizvodstva (na primere Rossii). Informacionno-e'konomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 2(66), pp. 55–61.
8. Gur'eva M.A., Butko V.V. Praktika realizacii modeli cirkulyarnoj e'konomiki. E'konomicheskie otnosheniya, 2019, vol. 9, no 4, pp. 2367–2384.

9. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Perspektivy` standartizacii informacionnogo prostranstva umnogo goroda. Informacionno-ekonomicheskie aspekty` standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, no. 2(66), pp. 4–11.
10. Paxomova N.V., Rixter K.K., Vetrova M.A. Perexod k cirkulyarnoj e`konomike i zamknuty`m cepyam postavok kak faktor ustojchivogo razvitiya. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. E`konomika, 2017, vol. 33, no. 2, pp. 244–268.
11. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informacionny`e tekhnologii cifrovoj transformacii umny`x gorodov. Pravovaya informatika, 2022, no. 2, pp. 4–13. DOI: 10.21681/1994-1404-2022-2-04-13.
12. Kristoffersen E., Blomsma, F., Mikalef, P., Li J. The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. Journal of Business Research, 2020, vol. 120, pp. 241–261.
13. Preobrazhenskij B.G., Tolsty`x T.O., Shmeleva N.V. Promy`shlenny`j simbioz kak instrument cirkulyarnoj e`konomiki. Region: sistemy`, e`konomika, upravlenie, 2020, no. 4(51), pp. 37–48. DOI: 10.22394/1997-4469-2020-51-4-37-48
14. Ackoff R.L. From data to wisdom. Journal of Applied Systems Analysis, 1989, vol. 16, pp. 3–9.
15. Buryi A.S. Kartirovanie tekhnologii kak metod v forsait-issledovaniyakh. Transportnoe delo Rossii, 2014, no. 5, pp. 155–157.
16. Walzberg J., Lonca G., Hanes R.J., Eberle A.L. [et al.] Do We Need a New Sustainability Assessment Method for the Circular Economy? A Critical Literature Review. Frontiers in Sustainability. 2021, vol. 1, p. 620047. DOI: 10.3389/frsus.2020.620047
17. Buryi A.S., Slepynseva L.I. Cifrovizaciya kontenta dokumentov po standartizacii. Part 2. Transformaciya dannyh. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2021, no. 6(64), pp. 12–18.
18. Oztemel E., Gursev S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. Journal of Intelligent Manufacturing, 2020, no. 31, pp. 127–182. DOI: 10.1007/s10845-018-1433-8