

О. В. Мясникова

Институт бизнеса БГУ, Минск, Беларусь, miasnikovaov1@gmail.com

РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТОВ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОТОКОВЫХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Статья посвящена вопросам формирования прикладных решений цифровой трансформации потоковых систем логистики в интеллектуальной экономике. Цель исследования выделить и систематизировать методические подходы трансформации потоковых систем производственной логистики на базе сценарного метода. Описано применение инструментария интеллектуальной экономики в механизме формирования производственно-логистических систем. Предложены сценарии цифровой трансформации основного производства и логистики. Определены эффекты от трансформации потоковых систем логистики в интеллектуальной экономике. Выводы и совокупность сценариев трансформации производственно-логистических систем будут полезны при планировании их непрерывного развития.

Ключевые слова: *производственно-логистическая система, сценарный подход, потоковые системы, производственная логистики, интеллектуальная экономика, цифровая трансформация, Индустрия 5.0*

O. Miasnikova

School of Business of BSU, Minsk, Belarus, miasnikovaov1@gmail.com

SCENARIO DEVELOPMENT AND EFFECTS EVALUATION OF DIGITAL TRANSFORMATION OF FLOW SYSTEMS OF PRODUCTION LOGISTICS IN THE INTELLIGENT ECONOMY

The article is devoted to the of applied solutions formation for the digital transformation of flow systems of logistics in the intelligent economy. The purpose of the study is to identify and systematize methodological approaches to the transformation of flow systems of production logistics based on the scenario method. The application of the intelligent economics tools in the mechanism of production and logistics systems formation is described. Scenarios of digital transformation of the main production and logistics are proposed. The effects of the transformation of flow systems of logistics in the intelligent economy are determined. Conclusions and a set of scenarios for the transformation of production and logistics systems will be useful in planning their continuous development.

Keywords: *production and logistics system, scenario approach, flow systems, production logistics, intelligent economy, digital transformation, Industry 5.0*

Логистика исследует потоковую форму движения экономической материи, которая является искусственной и не обладает собственным источником движения, как подчеркивают профессора И. Д. Афанасенко и В. В. Борисова [1]. Тот факт, что «ее (формы) питательной средой является коммерческая деятельность, обладающая уникальными свойствами: подвижностью разделенного пространства и способностью постоянно обновлять и усложнять свое содержание» [1], обуславливает усложнение потоковой системы в следствие развития содержания экономической деятельности.

Под потоковой системой логистики понимается совокупность потоков одного из трех типов (материальных, информационных или финансовых), в состав которой входят также средства создания, транспортировки, накопления и преобразования потоков [2].

Становление интеллектуальной экономики позиционируется как высшая фаза развития цифровой экономики. В работе профессора А. В. Бабкина и Е. В. Шкарупета [3] выделены сущностные характеристики интеллектуальной экономики. Так, совокупности естественного, искусственного и социального интеллектов выдвигается главным фактором и результатом социально-экономической деятельности, комплексность учета социальных, экологических и технологических аспектов в принятии решений, а также объединение единичных систем в экосистемы различных типов.

Производственно-логистическая система (ПЛС) – это сложная, динамичная, экономическая, открытая, адаптивная система с обратной связью, состоящая из относительно устойчивой совокупности звеньев цепи создания ценности, взаимосвязанных в пределах цикла производства в едином процессе управления материальными, сервисными и сопутствующими им потоками. Ранее нами сформулированы теоретические основы, концепция и методология проведения цифровой трансформации ПЛС, разработанные модели влияния технологий цифровой экономики на базовые элементы ПЛС. Стратегические решения и инструменты цифровизации ПЛС систематизированы в авторской спиральной модели и сценариях изменения ПЛС [4].

В методологических подходах к созданию программы цифровой трансформации ПЛС определено, что конкретизация стратегий выполняется в дорожной карте прикладных решений. В развитии данной проблематики в статье нами рассматривается методика формирования прикладных решений цифровой трансформации потоковых систем логистики.

Цифровизация экономики вызывает существенные изменения в составе структуры и взаимосвязях потоков в системах. Это прежде всего связано с переходом на создание и применение передовых интеллектуальных материалов, которые могут обладать следующими свойствами: память формы (восстановление первоначальной конфигурации детали после снятия нагрузки), способность к самовосстановлению, например, восстановлению сплошности после образования трещины, способность к обратимому изменению внутренней структуры материала в зависимости от условий эксплуатации. Повышение технологичности, надежности (выносливость, сопротивление малоцикловой усталости, статической и циклической трещиностойкости) и весовой эффективности (отношение прочности к удельному весу) материалов позволяет получить изделия с ранее недостижимыми характеристиками, расширить сферу использования и способы эксплуатации, изменить режимы обработки и способы создания элементов внутрипроизводственного материального потока (заготовки, детали, сборочные узлы). Цифровые технологии трансформируют и коммуникационную среду, и информационные потоки, обеспечивая обмен информацией внутри системы и с окружающей средой, и передачу управляющих команд исполнительным механизмам на основе схем Machine-to-Machine и Systems-to-Systems. Взаимодействие отдельных компонентов систем осуществляется через технологии передачи данных для обмена ими между цифровой и физической средой, датчики, которые собирают данные из физического окружения и передают их в цифровую среду, с использованием человеко-машинного интерфейса для взаимодействия человека с киберфизической системой.

Применение инструментария интеллектуальной экономики в механизме формирования ПЛС должно вестись последовательно. Нами определено наличие более 50 цифровых технологий, позволяющих реализовать сценарии цифрового развития производства. Подбор технологий для реализации проектов базируется на оценке их значимости и совместимости альтернатив технологий между собой. Разработана онтология и архитектурная модель

формирования ПЛС, где состав элементов ПЛС, прикладные решения и проектирование системных изменений образуют содержательную, ресурсно-технологическую и управленческую часть системы. На базе модели проведен анализ сочетания различных технологий и определены наилучшие из них, исходя из целей и требований к эффективности ПЛС. Для конкретных условий ПЛС необходимо также установить совместимость текущей инфраструктуры и технологического стека с потенциальными технологиями.

Принятие решения о внедрении ведется на основе анализа и сравнения эффектов от внедрения технологий, с учетом их гибкости и адаптивности, учета потенциала технологий в поддержке будущих изменений и потребностей бизнеса в интеллектуальной экономике. Формирование ПЛС для интеллектуальной экономики обеспечивает прикладные сценарии 4 уровней: – «Создание цифрового базиса системы»; 2 «Интеграция технологий»; – «Расширение и масштабирование технологий в цепях поставок»; – «Продвинутый уровень создания цифровых экосистем и платформ».

Сценарии цифровой трансформации потоковых систем логистики охватывают совокупность шагов по освоению прикладных решений. На рис. 1 и рис 2. показаны наборы сценариев первого уровня цифровой трансформации процессов основного производства и логистики. Указаны эффекты их реализации. Технологии маркированы в зависимости от их роли и потенциала по убыванию соответственно, как ромб, треугольник и круг.

Интеграция технологий в единую систему систем и формирование социо-киберфизических сетей (СКФС) является итогом сценария 2 уровня. Он позволяет организовать систему управления в едином информационном пространстве на базе комбинации ERP (Enterprise resource planning), PLM (Product lifecycle management), MES (Manufacturing execution systems).

Сценарий 3 уровня обеспечит переход к виртуальной модели производства через реализацию единой виртуальной модели всех процессов в мультиагентских системах (холоническое производство). Он позволяет объединить исполнителей по всей цепочке создания стоимости в «умные цепи поставок» на базе кооперативного взаимодействия интеллектуальных систем (агентов) и сформировать централизованный цифровой информационный хаб.

Сценарий 4 «Продвинутый уровень создания цифровых экосистем и платформ» обеспечивает переход к сетевой модели организации исполнения работ через построение Умной сети поставок (Smart Supply Network, SSN). Переход от жесткой иерархии к более тонким и плоским структурам, подбор исполнителей через цифровые платформы. Обеспечить видимость (visibility) и сквозную прозрачность (end-to-end transparency) цепи через применение технологии «диспетчерских вышек» (control towers). Выстроить систему, где держатель платформы формирует субконтракты и обеспечивает их распределение между исполнителями в режиме реального времени.

Именно комплексное освоение ряда цифровых технологий Индустрии 5.0 решает задачу интеграции компонентов цифровой экосистемы:

1) Социальных – осуществляющих как трудовые функции работников, так и концепции рабочее место 5.0. Социальные фабрики, отражающие человекоцентричность, экологическую и социальную ценность, цифровое благополучие индивидов и общества в целом, формирование у работников компетенций для киберфизических систем и адаптированное к ним обучение, безопасность работников, удовлетворенность работой, физическое и психическое благополучие. Человеко-машинный интерфейс и устройства для взаимодействия человека с материальными и информационными объектами системы, VR, AR и экзоскелеты, с коллаборативными роботами, экспертные знания в сочетании с искусственным интеллектом.

Сценарий освоения технологий / эффекты от реализация проекта	2. Iot	16. Интеграция CAD/CAE/CAM и ERP, APS, MES на базе PDM	45. Технологии определения местонахождения	13. Графические интерфейсы нового типа	18. Искусственный интеллект	23. Межмашинное взаимодействие	27. Носимые устройства (wearables)	47. Централизация данных и виртуализация	7. Автоматизация обработки знаний	30. Обработка больших данных	34. Прогнозная робототехника	36. Расширенная аналитика	1. ERP	3. MES	14. Единая информационная среда (ЕИС) на базе PDM	15. Индикаторы	19. Компьютерное зрение	37. Сенсоры	38. Система обратной связи и самообучения	42. Смешанная реальность (Mixed Reality)	50. Шлемы, экраны	4. PLM-система	5. RFID-метки	9. Аддитивное производство	12. Гибридное производство	20. Координатно-измерительные машины	21. Лазерные 3D-сканеры	24. Мобильная и спутниковая связь	28. Облачные сервисы для работы по модели pass	31. Очки VR	32. Панорамные системы	41. Смартфоны	49. Цифровые платформы и агрегаторы	
Контроль движения работника / снижения брака, простоев	♦	л	♦	♦	л			●	л	▲		▲			●	♦	♦	▲													●			
Контроль загрузки оборудования /сокращение простоев, повышение скорости	♦	л			●			▲		♦		♦	●	♦		♦		♦					♦											
Передача работ на свободные мощности в производственной сети / эффект масштаба	♦	л	♦	●		♦							♦						▲			▲					●	♦					♦	
Изготовление деталей, близких к заданной форме / снижение материалоемкости, времени обработки		♦		●				●		♦		♦		▲										♦	♦									
Безлюдное выполнение опасных и тяжелых операций / снижение риска		▲	♦		♦	♦	●		♦		♦								▲															
Сочетание видов обработки и выполнение всего цикла аппаратными комплексами / сокращение маршрутов движения		♦	▲		♦	♦	●		♦		♦								▲															
Бездефектное производство / стабильность повторяемости позиционирования, высокая производительность, точность		♦	▲	♦	▲	●	▲	▲		♦							♦									♦								
Проецирование данных на рабочую поверхность / повышение скорости, надежности и точности действий	♦							♦							♦	▲				♦	♦							▲		♦	♦	●		
Автоматизация измерения / высокая точность и скорость измерений		▲			▲					♦							♦	●								♦	▲							

Рис. 1. Сценарии и эффекты цифровой трансформации потоковых процессов основного производства

Источник: разработано автором.

[illegible]

Рис. 2. Сценарии и эффекты цифровой трансформации потоковых процессов логистики

Источник: разработано автором.

2) Когнитивных – отвечающих за разработку управленческих решений на основе баз данных и знаний, многоязычного распознавания речи жестов и предсказания намерений человека. Системы естественного интеллекта дополняются искусственным и охватывают системы поддержки принятия решений, управления базами данных, операционными платформами. Управление большими данными и передовые вычисления обеспечивают выявление неочевидных факторных зависимостей и скорость принятия решений на основе предиктивного моделирования.

3) Кибернетических – отвечающих за коммуникационную среду, обеспечивающую обмен информации внутри системы и с окружающей средой и передачу управляющих команд исполнительным механизмам. Включает цифровые активы, Искусственный интеллект 2.5, технологии кибербезопасности при взаимодействии человека и машины, имитационного моделирования целых систем, многомасштабное динамическое моделирование и симуляцию. Замкнутый контур цифровой автоматической системы управления, обеспечивающей выполнение заданных технологических операций в автоматическом режиме, в контуре «рабочий центр – датчик – контроллер управления – привод». Необходимо внедрение SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition) для контроля технологических процессов и передачи данных на автоматизированные рабочие места (АРМ) из системы управления информацией предприятий (PDM, MES, MDC) через программируемые логические контроллеры, исполнительные устройства на базе промышленного Интернета вещей. Данный контур образуют технологии передачи данных, генерации и обработки больших данных (BigData), автоматизации обработки данных, расширенной аналитики, централизации и виртуализации данных с использованием искусственного интеллекта.

4) Физических – реализующих технологический процесс, включая исполнительные механизмы, выполняющие манипулирование физической реальностью; сенсоры, датчики, коллаборативные роботы, средства вычислительной техники, связи и телекоммуникаций, а также другие средства производства, хранения, транспортирования, тару и тароносители, оцифрованные и включенные в систему M2M и S2S. В свою очередь адаптивная/отзывчивая эргономика и свойства поверхности, экзоскелеты, рабочая экипировка на биологической основе будут способствовать эффективной работе персонала.

5) Организационно-информационных – осуществляющих управление процессом в разной степени автоматизации производственных и управленческих процессов для достижения в итоге гиперавтоматизации. Организационный блок представлен цифровыми двойниками, передовыми вычислениями, использованием концепции Метавселенных, а для инновационных процессов – открытых инноваций 2, модель четырехкратной и пятикратной инновационной спирали. Информационный блок, включая инфраструктуру для хранения и обработки данных внутри цифровой среды, безопасную облачную ИТ-инфраструктуру, распределенные центры управления и проводные и беспроводные сети связи с полным аппаратно-программным обеспечением; технологии анализа, обработки данных, обмена данными между цифровой и физической средой.

В заключении следует указать, что методические подходы трансформации потоковых систем производственной логистики на базе сценарного метода позволит обеспечить гибкость, адаптивность и эффективность системе, способность изменять конфигурацию ПЛС под индивидуальные требования, исходя из оптимального сочетания и интеграции технологий для трансформации компонентов интеллектуальной социо-киберфизической экосистемы Индустрии 5.0.

Список использованных источников

1. *Афанасенко, И. Д.* Потокотая форма организованности экономической материи и концепция уровней / И. Д. Афанасенко, В. В. Борисова // Вест. Балтийского федерального ун-та им. И. Канта. Серия: Гуманитарные и общественные науки. – 2014. – № 3. – С.108–125.
2. *Толуев, Ю.* Концептуальные модели процессов в потоковых системах логистики / Ю. Толуев, Т. Реггелин // Логистика. – 2015. – № 1(98). – С. 62–67.
3. *Бабкин, А. В.* Интеллектуальная экономика экосистем: понятие, эволюция, формирование / А. В. Бабкин, Е. В. Шкарупета // Интеллектуальная инженерная экономика и Индустрия 5.0 (ИНПРОМ) : сб. трудов VIII Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 27–30 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 22–26. – DOI 10.18720/IEP/2023.1/1.
4. *Мясникова, О. В.* Спиральная модель и сценарии изменения производственно-логистических систем в ходе цифровой трансформации / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика: сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ. – Минск, 2022. – Вып. 6. – С. 229–238.