

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ БИЗНЕСА БГУ

О. В. Мясникова

**РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-
ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ТЕОРИЯ,
МЕТОДОЛОГИЯ И МЕХАНИЗМЫ
ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ**

Минск
Институт бизнеса БГУ
2021

УДК 658.7+005.932

ББК 65.291.592

М99

Рекомендовано научно-техническим советом

Института бизнеса БГУ

23 декабря 2020 г., протокол № 6

Рецензенты:

доктор экономических наук, профессор *В. Ф. Байнев*;
доктор экономических наук, профессор *Н. П. Беляцкий*

Мясникова, О. В.

М99 Развитие производственно-логистических систем: теория, методология и механизмы цифровой трансформации / О. В. Мясникова. — Минск : Институт бизнеса БГУ, 2021. — 267 с.

ISBN 978-985-7214-46-4.

Рассматриваются вопросы развития производственно-логистических систем. Раскрываются теоретические положения, методологические аспекты и механизмы их цифровой трансформации. Описаны концепция, методика и механизмы цифровой трансформации потоков, подсистем управления потоками и осуществления цикла производства. Разработаны решения по преобразованию систем в социоконвергентные системы Умного производства и Умные сети поставок. Раскрывается механизм проектирования систем и управления их цифровой трансформацией.

Предназначена для научных работников, преподавателей вузов, аспирантов, магистрантов, студентов, а также руководителей разного уровня и специалистов в области управления развитием и цифровой трансформации.

УДК 658.7+005.932

ББК 65.291.592

ISBN 978-985-7214-46-4

© Мясникова О. В., 2021

© Институт бизнеса БГУ, 2021

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. драйвером устойчивого экономического роста должно стать создание национальной платформы цифровой экономики, базирующейся на широком внедрении информационных технологий нового поколения во все сферы жизнедеятельности. А основной целью на 2021–2025 гг. определено повышение эффективности традиционной экономики посредством внедрения инноваций, оптимизации бизнес-процессов и создания условий и инфраструктуры для развития нового информационного общества [1].

Удовлетворение потребности рынка в конкретном товаре, информации о нем, возможностях его приобретения обеспечивают организации традиционной экономики, осуществляющие производственную и логистическую деятельность. Они выполняют работы по трансформации исходного сырья в готовую продукцию, перемещение и хранение грузов различной природы и назначения. Такие организации образуют цепь поставок, которая обеспечивает движение потоков от источников исходного сырья до конечного потребителя вдоль всей цепи создания стоимости продукта. Они решают комплекс задач по управлению материальными, информационными, финансовыми потоками в целях придания им требуемых количественных и качественных параметров для максимального удовлетворения потребителей.

Под производственной системой традиционно понимается объединение в единое целое производственных ресурсов для создания материальных благ и услуг с их последующей реализацией. Такая трактовка понятия «производственная система» не затрагивает проблему управ-

ления системой и потоковые процессы, происходящие в ней. Именно сквозное управление потоками материальных предметов, информационных единиц и персонала призвано обеспечить согласованное целенаправленное функционирование системы. Кроме того, термин «производственная система» можно часто встретить в контексте применения принципов и методов бережливого производства. Такая интерпретация связана с узким пониманием производственной системы как философии развития бизнеса и инструментария непрерывного совершенствования процессов.

До настоящего времени понятийно-терминологический аппарат производственно-логистических систем находится в дискуссионном поле, что требует его дальнейшей разработки, как и вопросы развития таких систем.

Определяя производственно-логистическую систему как состоящую из относительно устойчивой совокупности звеньев цепи создания ценности, взаимосвязанных в пределах цикла производства, мы опираемся на современное понимание логистики как методологии управления материальными и сопутствующими потоками и как концепции системной рационализации управления потоковыми процессами в промышленных организациях и цепях поставок. Звенья этой сложной системы объединены не только единым производственным процессом, но и общим процессом управления материальными, сервисными и сопутствующими им потоками для придания им таких количественных параметров и качественных характеристик, какие требуются потребителям.

Вопросы развития производственно-логистических систем связаны как с изучением их структуры на том или ином уровне детализации, так и с выделением источников их изменения в связи с заданными целями. Современные производственно-логистические системы должны обеспечить исполнение географически распределенного интегрированного бизнес-процесса производства. Ставится задача сделать систему гибкой, быстро реагирующей на изменения рынка, устойчивой к влиянию факторов неопределенности, эффективной и конкурентоспособной. Это может быть обеспечено путем выстраивания непрерывного информационного обмена актуальными данными, мониторинга оперативных изменений и поддержки принятия решений в случае отклонений, внедрения алгоритмов быстрого реагирования.

Для создания конкурентных преимуществ на динамично меняющихся рынках на основе кастомизации сервиса, минимизации издержек и повышения надежности, гибкости и устойчивости требуется изменение структуры и взаимосвязей в производственно-логистической системе. Источником таких конкурентных преимуществ выступает внедрение цифровых и инновационных технологий.

Развитие цифровой экономики имеет объективный и неизбежный характер, а цифровая трансформация или «Индустрия 4.0» стоят на повестке дня производственных компаний во всем мире.

Вместе с тем многие предприятия еще не адаптировались к проблемам и возможностям цифровой трансформации или к концептуальному прорыву, который она предполагает. Исследование цифровой трансформации, проведенное подразделением Strategy& компании PwC в 2018 г. среди 1 155 руководителей производственных компаний из 26 стран, показало, что почти две трети компаний находятся всего лишь на начальном этапе или же вообще не начали свой цифровой путь. Лишь 10 % мировых производственных компаний являются «цифровыми чемпионами» и выстраивают интегрированные операционные экосистемы для разработки комплексных решений для потребителей [2].

Остается на низком уровне цифровизация белорусских производственных предприятий. Если за рубежом уже реализуются проекты перехода от использования отдельных решений к внедрению единых систем управления – цифровых платформ, то в Республике Беларусь концепция перехода к «Индустрии 4.0» все еще обсуждается.

Положительным сдвигом в этой области следует считать реализацию пилотного проекта по созданию цифровых производств, который называется «Интеллектуальная система конструкторско-технологического проектирования и подготовки производства изделий с использованием цифровых технологий». Для осуществления проекта выбраны ОАО «ММЗ имени С. И. Вавилова» – управляющая компания холдинга «БелОМО» и ОАО «Витязь», а основным исполнителем работ определен Центральный научно-исследовательский и проектно-технологический институт организации и техники управления.

Первый заместитель министра промышленности Республики Беларусь С. М. Гунько в интервью сказал: «На второе полугодие 2023 г.

планируем старт пилотной эксплуатации на опытных площадках „БелОМО“ и „Витязя“. Важно, что „Индустрия 4.0“ будет целиком базироваться на облачных технологиях. По сути, оцифровав площадки к 2023 г., параллельно предложим промышленности систему учета ресурсов на предприятии и на все это „повесим шапку“ ERP-системы. А уже в 2025 г. должно функционировать цифровое производство с ERP-системой как отработанная технология, пригодная к применению на всех производствах» [3].

Приходится признать, что использование технологий компьютерного инжиниринга и виртуального моделирования, аддитивных технологий, промышленного Интернета вещей, мехатроники и робототехники пока не получило значимого распространения. Как следствие, отечественная промышленная продукция уступает ведущим зарубежным конкурентам по цене и качеству, срокам вывода готовой продукции на рынок. За редким исключением, белорусские производители не могут обеспечить кастомизацию производства и оперативно реагировать на рыночные изменения.

Все вышесказанное предопределило выбор темы и постановку задач настоящего исследования, целью которого является разработка теоретико-методологических положений по развитию производственно-логистических систем и механизма их цифровой трансформации.

Исходя из поставленной цели, в работе решаются следующие задачи:

- раскрыть сущность, иерархию и структуру производственно-логистических систем и решаемые ими задачи в современной экономике;
- проанализировать сущностные закономерности развития производственно-логистических систем во взаимосвязи со сменой технологических укладов, процессами цифровой трансформации экономики;
- выявить, какое влияние оказывает четвертая промышленная революция на состав, структуру, процессы и модели работы производственно-логистических систем;
- сформулировать сущность цифровой трансформации и ее роль в формировании производственно-логистических систем Умного производства (Smart Manufacturing System);
- разработать концепцию цифровой трансформации производственно-логистических систем, раскрыв содержание ее системооб-

разующих элементов. Определить объекты трансформации и выделить для них технологии и инструменты цифровой трансформации;

– раскрыть методологические аспекты цифровой трансформации информационных и материальных потоков и подсистемы управления ими. Описать особенности создания производственно-логистических систем как социокиберфизических систем цифрового типа. В разрезе подсистем осуществления цикла производства выделить конкретные локальные цели трансформации и определить цифровые технологии и инструменты, обеспечивающие достижение данных целей;

– выделить методологические аспекты цифровой трансформации производственно-логистической системы группы предприятий в динамические Умные сети поставок. Охарактеризовать суть трансформационных процессов по основным направлениям преобразования цепей поставок, в том числе платформенных решений и обеспечения устойчивости, гибкости и надежности в условиях борьбы с пандемией COVID-19;

– разработать механизм цифровой трансформации производственно-логистических систем, включая вопросы управления процессом цифровой трансформации, разработки проектных решений, ее оценки эффективности, конкретизации рисков.

Объектом исследования являются производственно-логистические системы. Предметом исследования – теория и методологические подходы к формированию производственно-логистических систем.

Исследование основано на фундаментальных и прикладных разработках отечественных и зарубежных ученых в области теории организации производства, теории управления, логистики и управления цепями поставок, методологии системного анализа и проектирования сложных систем, цифровизации. Решения проблем развития производственно-логистических систем и их цифровой трансформации выработаны исходя из современных представлений об их сущности и построении цифровой экономики.

Методической основой выступили научные публикации ряда исследователей. В их числе О. Г. Туровец, В. Н. Родионова, Н. Д. Кондратьев, Д. С. Львов, С. Ю. Глазьев, Д. Д. Бауэрсокс, Д. Д. Клосс, А. Гаррисон, Ремко Ван Го, Б. А. Аникин, С. А. Уваров, Д. А. Иванов, А. П. Тяпухин, Т. А. Родкина, А. М. Гаджинский, В. В. Дыбская,

И. И. Полешук, И. А. Еловой, В. С. Лукинский, М. Н. Григорьев, В. В. Ткач, В. И. Сергеев, А. Н. Стерлигова, Л. А. Мясникова, Т. В. Левина, М. М. Ковалев, Г. Г. Головенчик, А. В. Данильченко, И. А. Зубрицкая, Н. П. Беляцкий, В. Ф. Байнев, В. И. Кудашов, А. М. Зеневич, З. В. Пунчик, И. А. Михайловский, Т. Г. Таболич, П. В. Божанов, А. Д. Молокович, А. В. Огинская, Р. И. Морозов, Г. А. Калинин, Н. И. Касперская, Д. П. Зегжда, А. И. Боровков, П. В. Куприяновский, А. Н. Прохоров, М. Н. Лысачев, В. М. Марусева, Ю. А. Рябов, П. Н. Биленко, С. Л. Лысенко, И. В. Тарасов, А. Г. Чернышов, В. Н. Княгинин, А. М. Афонин, Ю. Н. Царегородцев, А. М. Петрова и др. При подготовке монографии многие идеи возникли после изучения электронных изданий, материалов свободного доступа, размещенных на сайтах, посвященных вопросам логистики и цифровой трансформации.

Монография будет полезна специалистам в области логистики и управления развитием для разработки проектов цифровой трансформации.

Глава 1

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКЕ

1.1. Сущность производственно-логистической системы

Категория «производственная система» является базовым понятием для производственно-логистических систем. Понятие «производственные системы» (ПС) широко используется в научном обороте. Анализ многочисленных источников позволяет выделить три сложившихся подхода к интерпретации термина ПС.

Подход 1. ПС как технико-технологическая база производственного процесса. Суть подхода сводится к следующим определениям, встречающимся в ряде публикаций в разной степени изменчивости:

– ПС – это объединение в единое целое производственных ресурсов (факторов производства) в определенной комбинации в целях создания материальных благ с их последующей реализацией [4];

– ПС – это система, использующая операционные ресурсы предприятия для преобразования вводимого фактора производства («вход») в избранную потребителем продукцию или услуги («выход»). «Вход» может быть представлен сырьем, заказчиком либо готовой продукцией, полученной из другой производственной системы. ПС состоит из элементов производственного процесса (средств труда, предметов труда, труда) и элементов технической и организационной упорядоченности [5].

Подход 2. ПС как механизм ведения бизнеса. Суть подхода сводится к широкому представлению ПС как совокупности подсистем различной функциональной наполненности.

ПС – это совокупность взаимосогласованных и взаимозависимых механизмов (элементов и подсистем), отвечающих за процессы саморазвития, организации, изготовления (производства), функционирующих в соответствии с общими законами ведения бизнеса на основе объединения специализированных знаний (достижений) в отдельных областях в единое целостное знание, обеспечивающее возможность инновационного развития [1].

Подход 3. ПС рассматривается как инструментарий развития бизнеса и отождествляется с внедрением и реализацией инструментов бережливого производства.

В своей работе И. А. Дручевская указывает, что в общем виде ПС определяется как совокупность инструментов, процедур, планов и методов, концепций и философии развития, заключающая в себе все функции, которые необходимы для переработки сырья и информации на входе в готовый товар или услугу на выходе [6].

Такой подход часто прослеживается в понимании компаний.

«Росатом»¹: ПС – это культура бережливого производства и система непрерывного совершенствования процессов для обеспечения конкурентного преимущества на мировом уровне.

«РУСАЛ»: ПС – это механизм создания и поиска, отбора и внедрения лучших практик, формирования базы знаний, которые позволят достичь стратегических целей компании, поддержать ее долгосрочный рост и высокий уровень конкурентоспособности.

АО «Трансмаш»²: ПС ТМХ – это стандартизированный набор методов и инструментов, направленных на максимальное использование ресурсов предприятия для создания ценности, на снижение непроизводительных затрат (потерь) и повышение удовлетворенности клиентов.

АО «Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат»³: ПС – это комплекс мероприятий, направленных на повышение эффективности производства и снижение издержек при сохранении высокого качества работы.

Следует обратить внимание, что трактовка понятия ПС не затрагивает проблему управления системой и потоковые процессы в ней происходящие. А именно сквозное управление потоками материальных предметов,

¹ Производственная система «Росатом» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.okbm.nnov.ru/company/production-system-rosatom/>. – Дата доступа: 05.02.2019.

² Производственная система ТМХ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.transmash.com/xmatrix/>. – Дата доступа: 05.02.2019.

³ Производственная система. Проекты улучшений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sckkbur.ru/personal-policy/production-system-projects-improvements/>. – Дата доступа: 05.02.2019.

информационных единиц и персонала призвано обеспечить согласованное целенаправленное функционирование элементов ПС. Это заставляет нас обратиться к логистике. Управление внутрипроизводственными материальными и сопутствующими потоками (сервисными, информационными, кадровыми), возникающими в процессе создания товаров (услуг) — это функциональная область *производственной логистики*. Ее место в составе взаимосвязанных между собой подсистем логистики — в блоке бизнес-логистики, которая является основной, в то время как логистика движения ресурсов — обеспечивающей (рис. 1.1). Производственная логистика занимается управлением движения материального потока в производстве интегрировано и в сочетании с процессами снабжения и сбыта.

Современное понимание логистики не только как методологии управления материальными и сопутствующими потоками, но и как концепции системной рационализации управления потоковыми процессами в промышленной организации предполагает постепенно развитие и формирование интегрированных систем управления, построенных на принципах синхронизации, оптимизации и интеграции всех процессов, происходящих в организации.

В этой связи следует рассмотреть, как трактуют понятие «системы» специалисты в области логистики и управления цепями поставок. Существует много интерпретаций термина «логистическая система». Приведем основные из них.

Логистическая система (ЛС) — сложная, динамичная система управления, основной целью которой является осуществление товарообращения для своевременного обеспечения потребностей экономики и населения в товарах и продукции производственно-технического назначения с наименьшими издержками (СТБ 2047-2010) [8].

ЛС — это относительно устойчивая совокупность звеньев (структурных/функциональных подразделений компании, а также поставщиков, потребителей и логистических посредников), взаимосвязанных и объединенных единым управлением корпоративной стратегии организации бизнеса [9].

ЛС — сложная организационно завершенная экономическая система, состоящая из элементов и звеньев, взаимосвязанных в едином процессе управления материальными и другими сопутствующими потоками, совокупность, границы и задачи функционирования которой объединены конкретными целями организации бизнеса [10, с. 354].

ЛС — это адаптивная система с обратной связью, выполняющая те или иные логистические операции и функции. Она, как правило, состоит из нескольких подсистем и имеет развитые связи с внешней средой [11].

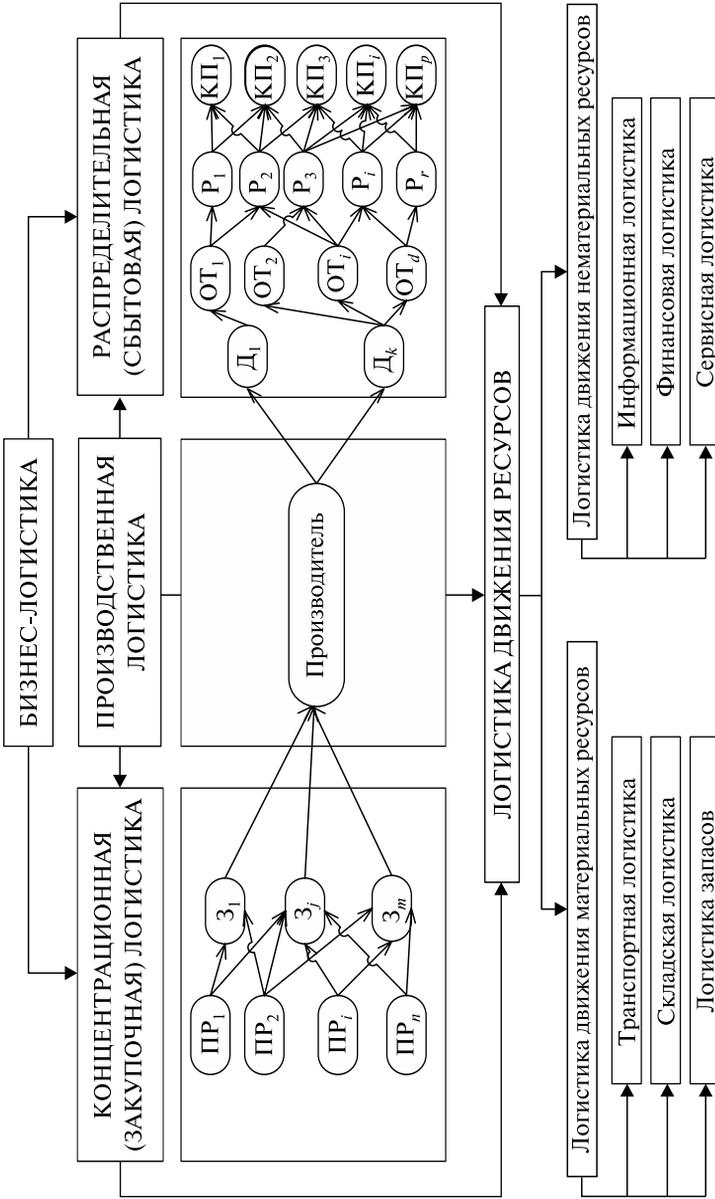


Рис. 1.1. Взаимосвязи функциональных подсистем логистики.

ПР – производитель сырья; З – закупщик-поставщик сырья; ОТ – оптовый торговый посредник;
 Д – дистрибьютор; Р – розничный торговый посредник (ритейлер); КП – конечный потребитель товара

Источники: [7].

ЛС – система управления потоками ресурсов в целях придания им количественных параметров и качественных характеристик в соответствии с требованиями внешней среды [12, с. 35].

ЛС – это сложная, структурированная экономическая система, состоящая из элементов – звеньев, взаимосвязанных в едином процессе управления материальными, сервисными и сопутствующими им потоками [13].

Анализ основных интерпретаций термина «логистическая система» показал схожесть во мнении большинства исследователей, а именно: системы со сложной многозвенной структурой, осуществляющие процесс движения потоков и управление им, работающие на основе динамической адаптации к внешней среде, являются логистическими. Именно использование методологии «управление цепочками поставок» позволяет нам *рассматривать современные ПС как системы логистические*.

До настоящего времени понятийно-терминологический аппарат производственно-логистических систем (ПЛС) находится в дискуссионном поле, что требует его дальнейшей разработки. Проведенный анализ литературных источников показывает, что данный термин не сложился и характеризуется неоднородностью состава. Основные определения производственно-логистической системы ряда исследователей отражены в таблице.

Понятие производственно-логистической системы

Автор, год, источник	Определение производственно-логистической системы
Н. Б. Лобанов, 2008, [14]	Часть логистической системы, к которой относится управление внутрипроизводственными потоковыми процессами, и которая является интегрированной совокупностью элементов в общей структуре действующей логистической системы
М. Ю. Ермоленко, 2008, [15]	Представляет взаимоувязанный комплекс поставщиков, производственных площадок, внутрипроизводственных складов и складов дистрибуции, транспортных средств, а также покупателей
О. В. Чудин, 2009, [16]	Совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих подразделений промышленного предприятия, обеспечивающих логистическую оптимизацию движения материальных и сопутствующих им потоков в целях выпуска конкретной продукции заданного объема и уровня качества в минимальные сроки и по минимальной цене

Автор, год, источник	Определение производственно-логистической системы
Е. В. Ерохина, 2015, [17]	Представляет собой многофункциональную структуру, состоящую из элементов производственного и логистического назначения, обеспечивающую процессы управления потоками в направлении от рынков сырья, факторов производства к субъектам – производителям товаров и далее к потребителям
П. П. Крылатков, 2015, [18]	Целостная организационно-технологическая совокупность объединенных в бизнес-портфель структур, функций и ресурсов, которые собственник считает целесообразными и необходимыми для достижения своих экономических целей, проявления компетенций и создания конкурентных преимуществ на рынке продукции и услуг
А. Г. Некрасов, 2017, [19]	Это взаимодействующие на принципах саморегулирования и адаптации процессы и звенья (элементы) с едиными ресурсами, обеспечивающие устойчивые экономические результаты на базе вычислительной сети и единых стандартов управления процессами. ПЛС обладает способностью к адаптации в постоянно меняющейся внешней среде и созданию кооперированного результата большей ценности, чем ценность отдельных результатов ее звеньев

Проведенный анализ позволил сформулировать следующее определение.

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, обеспечивающих придание им количественных параметров и качественных характеристик в соответствии с требованиями внешней среды.

ПЛС являются сложными технико-экономическими системами. Они создаются для управления материальными, информационными, финансовыми потоками в целях придания им требуемых количественных и качественных параметров для максимального удовлетворения потребности рынка в конкретном товаре, информации о нем и возможностях его приобретения. Их структурные элементы образуют цепь поставок, которая обеспечивает движение потоков от источников исходного сырья до конечного потребителя вдоль всей цепи создания стоимости продукта.

ПЛС – это материальная, искусственная, большая, сложная, открытая система, для которой характерно:

- участие в ней людей, машин, природной среды и влияющих на ее работу возмущающих отклонений;
- наличие выделенных частей (подсистем), имеющих содержательный характер действий;
- наличие целей функционирования и критериев эффективности достижения целей;
- иерархическая структура управления с вертикальными и горизонтальными связями между подсистемами;
- большое число и разнообразие связей;
- движение трудовых, материальных и информационных потоков между подсистемами.

Анализ литературных источников [20, 21] показал, что ПЛС обладают специфическими свойствами, позволяющими относить их к разряду сложных систем, т. е. систем с разветвленной структурой и значительным количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов (подсистем), имеющих собственное целевое назначение, подчиненное общему целевому назначению всей системы, а также разные по своему типу связи и элементы самоорганизации.

1.2. Иерархия производственно-логистических систем

Сложность структуры и решаемых задач предопределила многообразие видов ПЛС. Так, выделяют следующие виды логистических систем [12, 13]:

- по масштабу: микро-, мезо-, макро-, мега(гига-)логистические системы;
- по характеру взаимного расположения элементов системы (ее структуре): ПЛС с линейной (последовательной), концентрированной (сборочной), распределительной и комбинированной (комплексной) структурой;
- по характеру связей между элементами: ПЛС с прямой связью; с обратной связью (с возвратными основными потоками); с горизонтальными связями; системы с резервными связями (гибкая связь); комбинированные.

Границы ПЛС определяются производственным циклом. Исходя из места в организационной иерархии, можно выделить ПЛС уровня рабочего места, производственного участка/цеха, предприятия, группы предприятий.

Рабочее место – это закрепленная за одним рабочим либо за бригадой часть производственной площадки, с находящимися на ней оборудованием и орудиями труда, инструментами, приспособлениями, подъемно-транспортным и иными устройствами и предметами труда, соответствующими характеру выполняемых работ. ПЛС уровня рабочего места представлена производственной площадкой с оборудованием, местами хранения предметов труда до и после обработки, инструмента, персоналом, средствами коммуникации с системой управления по прямой и обратной связи (рис. 1.2).

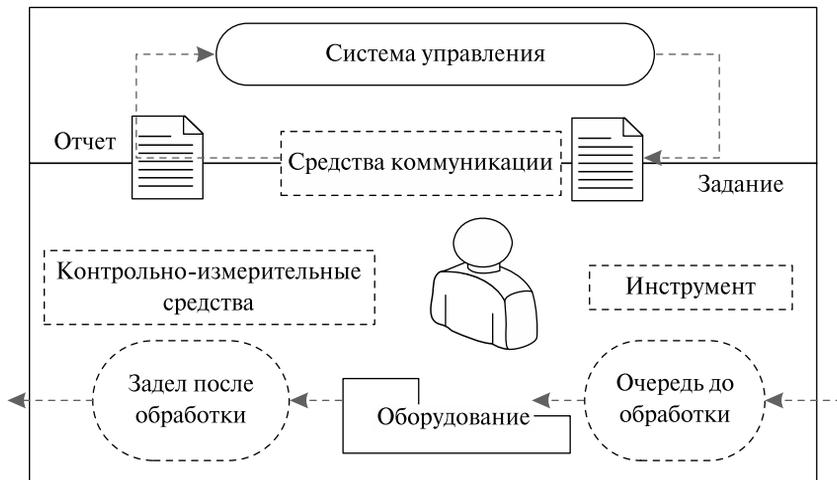


Рис. 1.2. Общая схема ПЛС уровня рабочего места

Источник: разработано автором.

ПЛС уровня производственного участка/цеха представляет собой объединенную по тем или иным признакам группу рабочих мест, которые расположены в пространстве по одному из трех типов планировки:

- функциональная планировка;
- линейная (поточная) планировка;
- ячеистая планировка.

Пример размещения и движения потоков показан на рис. 1.3.

При функциональной планировке операционные ресурсы группируют по отдельным участкам по признаку выполняемой работы (процесса). На участках размещаются однотипные станки, предназначенные для выполнения определенных технологических операций. Каждая деталь перемещается с участка на участок последовательно согласно своему технологическому маршруту.

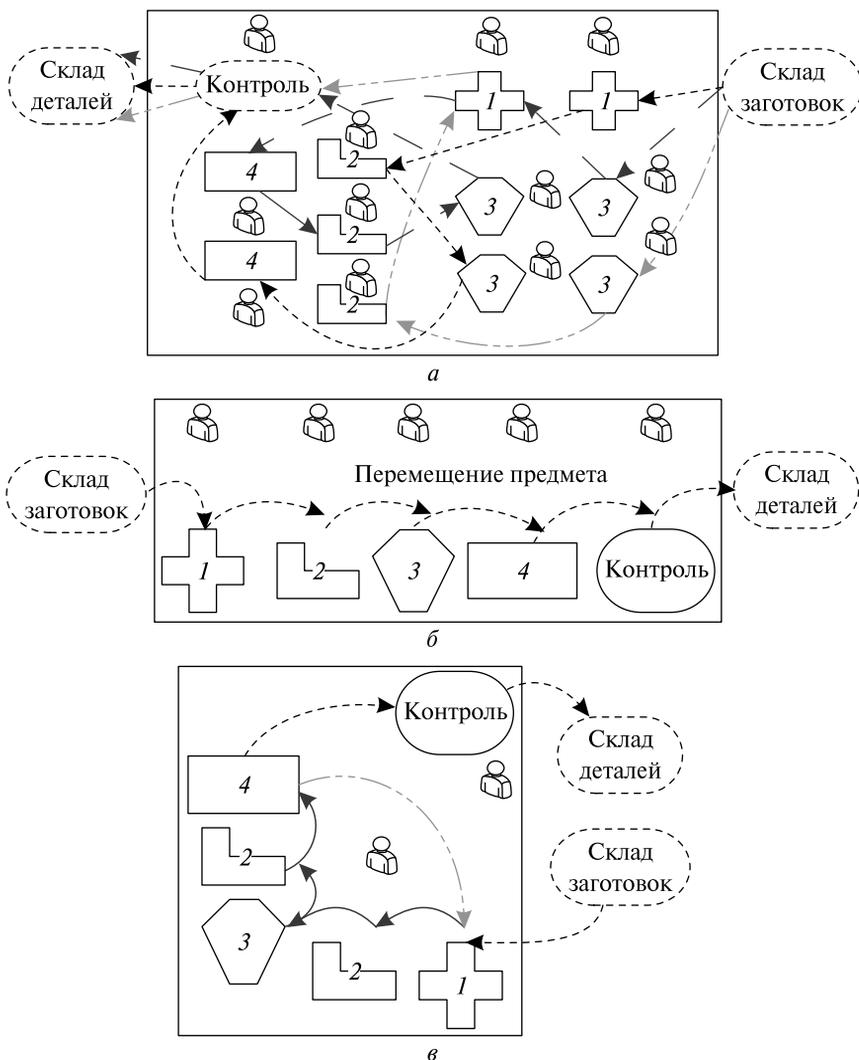


Рис. 1.3. Общая схема ПЛС участка/цеха:

а – функциональная планировка; б – линейная планировка; в – ячеистая планировка; 1 – фрезерный станок; 2 – токарный станок; 3 – сверлильный станок; 4 – строгальный станок. Условные обозначения:

-----> перемещение предмета; —————> движение работника и перемещение предмета; - - - - -> движение работника

Источник: [22].

При линейной планировке рабочие места размещают последовательно в соответствии с теми операциями, которые требуются для выпуска готового продукта. Оборудование подбирается и размещается в порядке выполнения операций технологического процесса. Размещение оборудования по принципу групповой технологии предполагает создание так называемых производственных/технологических ячеек, в которых различное оборудование группируется в ячейки для выполнения операций над несколькими разными, но однородными по конструктивно-технологическим признакам изделиями.

ПЛС уровня предприятия как обособленного субъекта хозяйствования предназначена для управления потоками, которые генерируются потребителями и поставщиками, проходят сквозь ее звенья, меняя свои параметры.

Как адаптивная система с обратной связью ПЛС на «входе» (поток П0) получает требования к продукту, преобразует их в проектные документы, формулирует на их основе требования к элементам механизма и покупаемым ресурсам (поток П1). Получаемые ресурсы (поток П3) принимаются обеспечивающей подсистемой в хранение и по мере необходимости запускаются в основное производство для преобразования, а в результате «на выходе» (поток П4) создается представляющий ценность для потребителя продукт (рис. 1.4).

Управляющая система включает в себя логистический регулятор и измеритель рассогласований, возникающих за счет внешних и внутренних возмущений. Управляющая система оказывает прямое воздействие на объект и получает обратную связь, которую анализирует и на ее основе формулирует действия, корректирующие план работы объекта управления. Объектом управления выступают потоки, проходящие через систему.

ПЛС уровня группы предприятий образуют цепи поставок (ЦП).

Цепь поставок (Supply Chain, SC) – взаимосвязанный набор ресурсов и процессов, который начинается с оформления контракта на поставку, продолжается процессом получения сырья, производством, обработкой и заканчивается передачей товаров и относящихся к ним услуг конечному пользователю [23].

Сущность ЦП раскрывается через объектное и процессное представление. С позиции объектного представления ЦП – это совокупность организаций предприятий-изготовителей, складов, дистрибьюторов, 3PL- и 4PL-провайдеров, экспедиторов, оптовой и розничной торговли, выделенных в цепи добавленной стоимости от источников исходного сырья до конечного потребителя. Указанные организации взаимодействуют по вопросам генерации и продвижения материальных, финансовых и информационных потоков и потоков услуг.

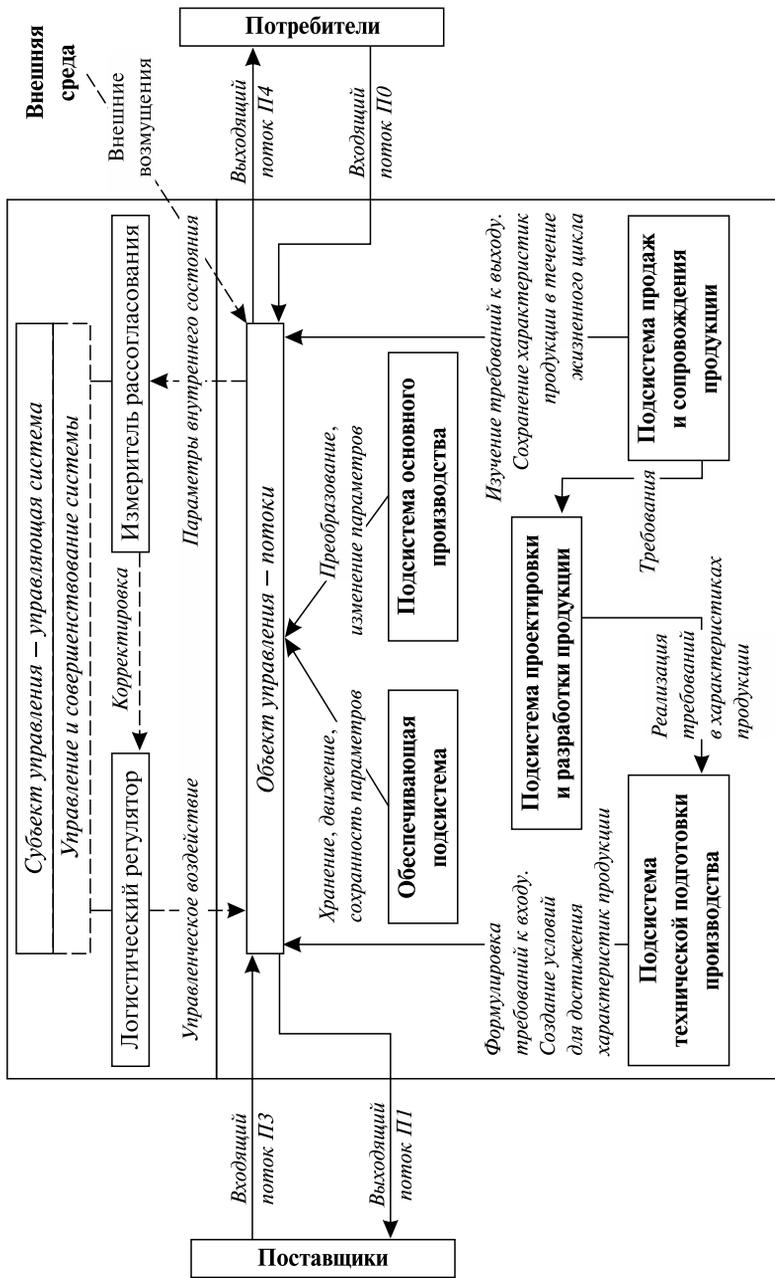


Рис. 1.4. ПЛIS предприятия как система управления потоками

Источник: [100].

Процессное представление конкретизирует совокупность процессов кооперации и координации продвижения потоков различной природы между участниками цепи создания стоимости и их преобразования и сохранения для удовлетворения требований потребителей в товарах и услугах.

В современной логистике активно используется термин *управление цепями поставок (УЦП)*. Европейской логистической ассоциацией было дано следующее определение УЦП (Supply Chain Management, SCM). УЦП – это организация, планирование, контроль и регулирование товарного потока, начиная с получения заказа и закупки сырья и материалов для обеспечения производства товаров, и далее – через производство в распределение, доведение его с оптимальными затратами ресурсов до конечного потребителя в соответствии с требованиями рынка [24].

В словаре Ассоциации оперативного менеджмента APICS можно найти еще одно определение. УЦП – это проектирование, планирование, контроль и мониторинг деятельности в цепи поставок в целях создания чистой стоимости, построения конкурентоспособной инфраструктуры, использования рычагов глобальной логистики, синхронизации поставок со спросом и измерения результатов функционирования цепи поставок в целом [25; 26].

УЦП, соединяя вместе взаимодействующие звенья логистической цепи, создают ценность такого взаимодействия для конечного потребителя. Объектами ЦП выступают организации, которые заключают контракт на поставку, изготовление, обработку, перемещение, выгрузку товаров; осуществляют перемещение товаров любым принятым способом; предоставляют, формируют информацию о поставках, используемой в практике деловых отношений, в том числе с таможенными органами, или управляют ей.

Моделирование ЦП на базе схем декомпозиции ведется по объектам и бизнес-процессам, выделенным по различным принципам.

В зависимости от количества звеньев различают:

- 1) прямую ЦП, которая состоит из фокусной компании, поставщика и покупателя/потребителя;
- 2) расширенную ЦП, в которой еще рассматриваются поставщики и потребители второго уровня;
- 3) максимальную ЦП, которая состоит из фокусной компании и всех ее контрагентов слева и сети распределения справа.

Процессная декомпозиция ЦП предполагает выделение бизнес-процессов цепи и каждого отдельного предприятия. Анализ ряда источников [27–32] позволяет говорить, что наиболее известными моделями бизнес-процессов ЦП являются следующие:

– референтная модель операций в цепях поставок – SCOR-модель (Supply Chain Operations Reference model);

– модель лучших практик цепей поставок – SCCBP-модель (Supply Chain Consortium Best Practice Framework), разработанная Консорциумом Томпкинса по цепям поставок (Tompkins Supply Chain Consortium);

– модель совместного планирования, прогнозирования и пополнения – CPFR-модель (Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment), разработанная специальным комитетом Ассоциации добровольных межотраслевых торговых стандартов VICS (Voluntary Inter-Industry Commerce Standards) и на данный момент разрабатываемая GS1 US.

Совет по цепям поставок (The Supply-Chain Council, SCC) в 1996 г. в качестве международного межотраслевого стандарта предложил SCOR-модель (Supply Chain Operations Reference model), которая относится к классу процессно-ориентированных. Общая идеология SCOR-модели заключается в сочетании принципа неразрывности товарного и информационного потоков одновременно с функциональной интеграцией. Границы модели определяются «от поставщиков поставщика до клиентов потребителя», т. е. модель описывает так называемую «расширенную» цепь поставок [33].

В общем виде SCOR-модель отражает взаимосвязь шести бизнес-процессов первого уровня:

– планировать (Plan) – интегрирующий элемент, выделяется как отдельный процесс верхнего уровня по отношению к четырем другим процессам, обеспечивает общую координацию деятельности ЦП;

– делать (Make) – процессы, связанные с производством товара;

– снабжать (Source) – процессы, связанные с получением предметов снабжения для производства товара или его продажи;

– доставлять (Deliver) – на практике обозначается как «Сбыт», охватывает весь цикл «Order-to-Cash» от формирования заказа сбыта до получения денежных средств по данному заказу в рамках всей ЦП;

– возвращать (Return) – процессы, связанные с управлением возвратными материальными потоками;

– предоставлять (Enable) – все обеспечивающие или вспомогательные процессы.

SCOR-модель 12.0 [28] отражает переход от представления ЦП как традиционно линейной по своей природе системы, где процессы выполняются дискретно и последовательно, но с учетом обратной связи (рис. 1.5), к сети поставок (Supply Network) как пути адаптации к цифровому миру через гибкое, совместное и инновационное УЦП (рис. 1.6).

SCOR-модель охватывает все аспекты взаимодействия с потребителями (от заказа до выставления счета), все транзакции и все рыночные взаимодействия (от понимания общих потребностей до исполнения конкретных заказов). SCOR-модель является частью корпоративного портфеля

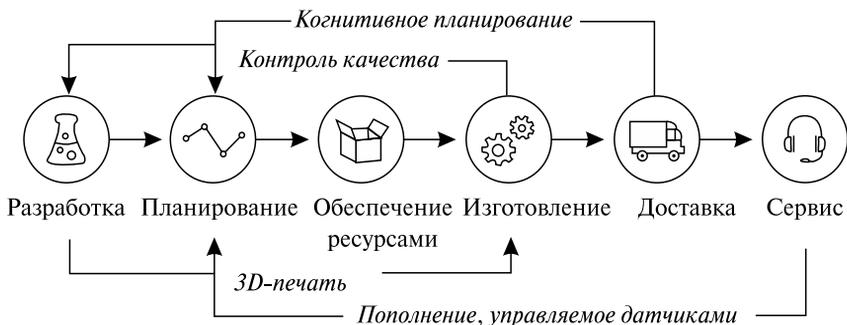


Рис. 1.5. Цепь поставок: традиционный подход
 Источник: APICS, 2018 [34], перевод и адаптация автора.



Рис. 1.6. Сеть поставок: подход цифровой эры
 Источник: APICS, 2018 [34], перевод и адаптация автора.

APICS, описывающего критические элементы цепочки создания стоимости, который включает в себя модели: PLCOR (Product Life Cycle Operations Reference – референтная модель операций жизненного цикла продукции),

DCOR (The Design-Chain Operations Reference model – референтная модель операций в цепях проектирования), CCOR (Customer Chain Operations Reference model – референтная модель операций в цепях потребителей) и M4SC (Managing for Supply Chain Performance – управление, обеспечивающее производительность цепей поставок). Описание более 200 стандартных бизнес-процессов позволяют комбинировать готовые описания как для самых простых ЦП, так и для сложных комплексных сетей. За счет стандартных наборов работ и показателей отдельные компании могут быть легко интегрированы в описание любой сетевой структуры ЦП.

В 2004 г. Консорциумом Томпкинса по цепям поставок (Tompkins Supply Chain Consortium) была разработана модель лучших практик цепей поставок SCCBP-модель (Supply Chain Consortium Best Practice Framework).

Модель включает в себя термины процесса, которые аналогичны терминам других моделей, но, как показано на рис. 1.7, разработчики модели также изменили и расширили терминологию цепочки поставок,



Рис. 1.7. Модель лучших практик цепей поставок (SCCBP-модель)
 Источники: Supply Chain Consortium [35], перевод и адаптация автора.

включив в нее перемещение, хранение/сортировку, контроль и конфигурацию (profile).

SCCBP-модель призвана обеспечить комплексную структуру для определения, измерения и совершенствования процессов ЦП. Модель охватывает розничную торговлю, производителей и дистрибьюторов/оптовиков. Однако эта модель ориентирована на сбор, анализ и отчетность данных, а не на организацию и стандартизацию процессов, создание общего языка и структуры для моделирования ЦП.

Модель совместного планирования, прогнозирования и пополнения CPFR-модель (Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment) отражает циклический процесс совместной деятельности звеньев цепи (рис. 1.8).

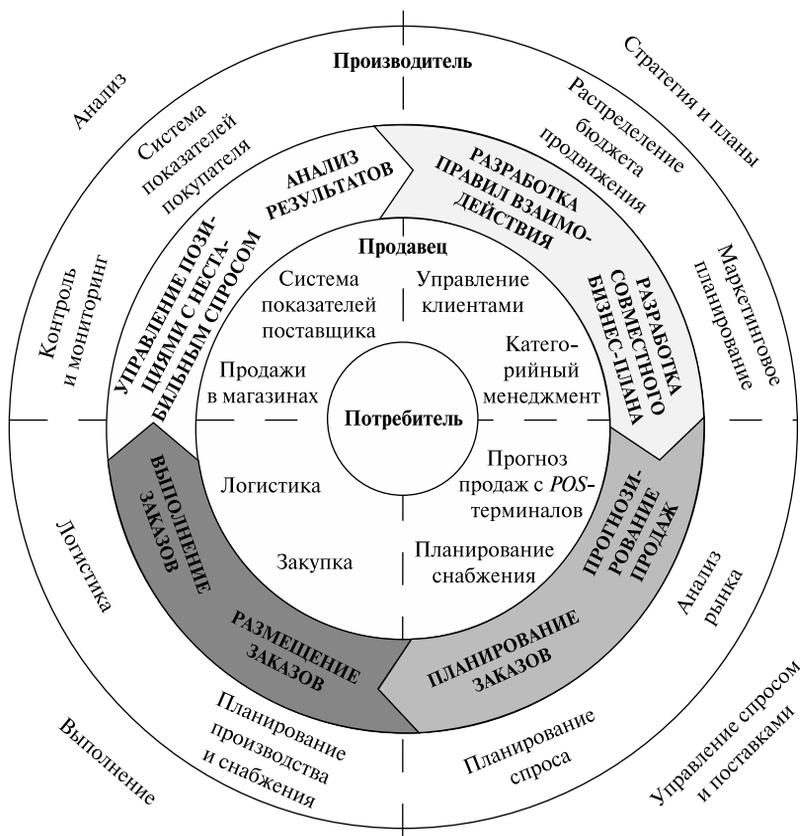


Рис. 1.8. Базовая модель CPFR (VICS)

Источник: [35].

Создание между двумя и более партнерами единого подхода к формированию оптимальных условий для удовлетворения потребностей клиентов, включая бизнес-планирование, прогнозирование продаж и все операции, необходимые для пополнения запасов сырья и готовой продукции, обеспечивает более эффективное функционирование цепи [36].

1.3. Структура производственно-логистических систем

Структура ПЛС определяется составом и взаимосвязями между ее элементами, выделенными в рамках поставленной задачи анализа или синтеза. Для декомпозиции ПЛС можно выделять элементы по различным признакам: функциональному, материально-вещественному, организационному. Являясь полиструктурной, ПЛС включает в себя:

- организационную структуру, предполагающую сочетание субординации и координации различных подразделений;
- экономическую структуру, состоящую из совокупности отношений собственности в рамках системы;
- структуру потоков как совокупность материальных, информационных, финансовых элементов, находящихся в движении в рамках системы;
- информационную структуру, объединяющую комплекс средств, методов, моделей и алгоритмов, используемых для хранения, обработки и выдачи данных;
- технологическую структуру, объединяющую комплекс технологий и приемов осуществления процессов логистики и производства;
- структуру персонала, группирующую работников в системе;
- техническую структуру, объединяющую комплекс технических средств и механизмов;
- корпоративную культуру, объединяющую систему ценностей, общее видение развития, модель взаимоотношений, нормы поведения, правила, традиции.

Базовым структурным элементом ПЛС выступает ее звено. Основываясь на общем определении звена логистической системы [26], отметим, что звеном ПЛС является некоторый экономически и/или функционально обособленный объект, не подлежащий дальнейшей декомпозиции в рамках поставленной задачи анализа или синтеза ПЛС и выполняющий локальную целевую функцию (например, производитель, перевозчик, складская фирма). В свою очередь, в рамках звена выделяются элементы ПЛС, которые выполняют определенные функции как подразделения звена. Например, в звене «производитель» выделим логистические элементы –

складскую службу, транспортную службу, службы сбыта готовой продукции, а также производственные элементы – цехи, участки и рабочие места основного и вспомогательного производства. Объединение элементов в подсистемы позволяет выделять группы исходя из их специализации.

В логистике выделяют звенья и элементы трех основных типов: генерирующие, преобразующие и поглощающие материальные и сопутствующие им информационные и финансовые потоки. В звеньях потоки могут сходиться, разветвляться, дробиться, изменять свое содержание и параметры [26]. Звенья выполняют работы по концентрации, кастомизации и рассеиванию потоков [37]. Консолидация – сбор больших количеств одного продукта или нескольких различных продуктов таким образом, чтобы они могли быть обработаны или проданы (распределены) группой. Под кастомизацией понимают процесс приспособления продукции под конкретные нужды покупателя, а также сортировки и группирования продуктов в уникальные комбинации. Ее результатом являются такие продуктовые комбинации, которые удовлетворяют специфические запросы потребителей. Рассеивание (dispersion) состоит в отправке уникальных ассортиментных групп продукции потребителям в заданное время и место.

Для понимания роли отдельных звеньев ПЛС в движении потоков различной природы и состава рассмотрим натурально-вещественный состав потока как объекта управления ПЛС.

Состав потоков и направление их движения в ПЛС по специализированным каналам отражены на рис. 1.9.

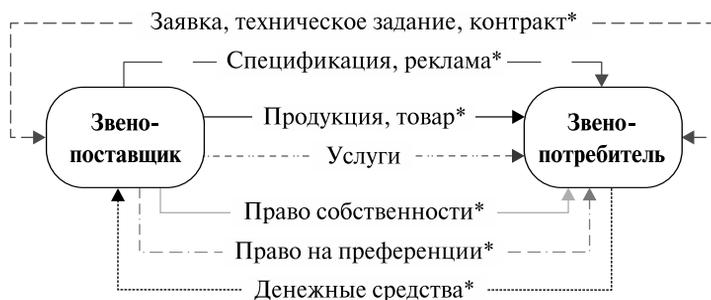


Рис. 1.9. Виды и направления движения потоков. Условные обозначения

- каналов движения потоков: ←-----→ переговоры;
 —————▶ принадлежности; —————▶ продвижения;
 - - - - -▶ преференций; —————▶ товародвижения;
▶ финансирования;▶ обслуживания

Примечание. * В ПЛС в рамках одного предприятия указанные элементы потока не образуются.

Источник: разработано автором на основе [7].

В общем случае в ПЛС в движении находятся следующие потоки [7]:

1. Поток титулов собственности – прав собственности на товар, возмездная передача которых от одного физического или юридического лица к другому подтверждает факт продажи.

2. Поток контрактов – документация, которая необходима для заключения сделки купли-продажи, а также информация о потребителях, товаре, конкурентах, других субъектах и факторах маркетинговой среды (в части ключевых условий сделки).

3. Финансовый поток – денежные средства и обязательства по сделке купли-продажи за купленные товары, которые, как правило, переводятся на счета производителя через банки и другие финансовые учреждения.

4. Материальный поток – находящиеся в состоянии движения товарно-материальные ценности объекты, являющиеся предметом сделки купли-продажи, материально-сырьевые ресурсы, предметы незавершенного производства, средства труда и вспомогательные элементы (энергия, инструменты, средства технологического оснащения).

5. Сервисный поток – услуги как нематериальные блага, предоставляемые по запросу потребителя и инициативно. Внутрипроизводственные сервисные потоки многочисленны и связаны с обеспечением безотказного функционирования инфраструктуры производства (ремонтные монтажные, пуско-наладочные работы) и движением материального потока (перевозка, хранение, упаковка, маркировка материальных объектов). А также обеспечением производства данными и документацией (конструкторской, технологической, метрологической, плановой и отчетной о ходе производства, стандартов качества продукции и процессов и др.).

6. Поток средств продвижения – информационно-рекламные сообщения на мероприятиях по формированию узнаваемости товарных знаков и общественного мнения.

7. Поток прав на преференции – всевозможные призовые купоны, карты дисконтных программ и т. п. средства стимулирования приверженности бренду, имеющие материальную составляющую.

В ПЛС входящие материальные и информационные потоки преобразуются в материальные потоки товаров или нематериальные потоки услуг, поступающих на товарные рынки, изменяется и информационный поток.

Потоки проходят через процессы, которые взаимосвязаны между собой как поставщики и потребители, образуют цепочки создания стоимости, которые планируются и координируются через систему управления (рис. 1.10).

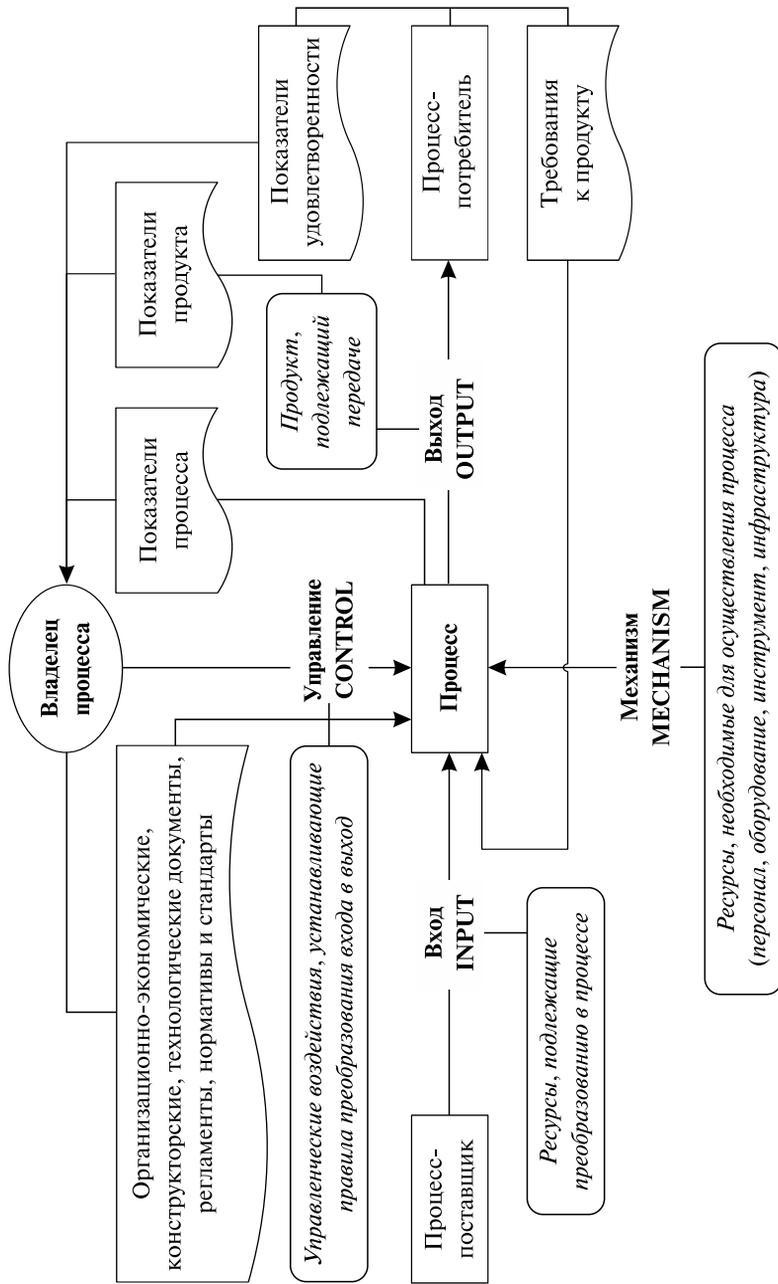


Рис. 1.10. Процессное представление движения потоков в производственно-логистической системе
Источник: [22].

Рассмотрим структуру ПЛС исходя из следующих задач анализа:

1. Выделить звенья и элементы системы, отвечающие за преобразование элементов материальных потоков в целях придания им новых свойств. В основе деления – натурально-вещественный состав потока и выполнение конкретных производственных и логистических функций. Результат – состав элементов ПЛС как исполнителей определенных процессов преобразования и продвижения потока.

2. Определить звенья и элементы системы, отвечающие за управление движением материального потока. В основе деления – состав информационного потока и управленческих воздействий. Результат – состав элементов ПЛС, управляющих движением элементов потоков, выполняющих работы в рамках процессов планирования, организации, координации, контроля, анализа и регулирования движения потока.

3. Выявить натурально-вещественный состав производственных ресурсов (факторов производства), необходимых в определенной комбинации для выполнения процессов преобразования, продвижения и управления в звеньях и элементах системы. Система ресурсов включает в себя взаимосвязанные и целесообразно функционирующие персонал, оборудование, компьютерные программы и ИТ-системы, технико-технологическую документацию, необходимые для выполнения работ.

Задача 1. Выделить состав элементов ПЛС как исполнителей определенных процессов преобразования и продвижения потока.

Рассматривая функциональный состав элементов ПЛС, можно указать звенья ПЛС, играющие различную роль в цепи создания ценности. Звенья ПЛС решают много бизнес-задач – производство продукции, реализация продукции, ее продвижение; ведение переговоров по закупкам и продажам; маркетинговые исследования; выбор и найм посредников; физическое перемещение товаров; содержание запасов; обработка заказов; транспортировка сырья и товаров; выписка счетов; получение денежных средств от покупателей; подгонка товара в соответствии с требованиями заказчика; техническая поддержка и ремонт; работа с возвращенным товаром, финансирование запасов; предоставление кредита конечным потребителям.

Декомпозицию ПЛС можно проводить посредством выделения структурных элементов, отвечающих за выполнение конкретных производственно-логистических функций (снабжение, производство, сбыт), процессов (закупка, перевозка, изготовление, сборка, ремонт и т. д.) и многочисленных операций.

Операции осуществляются над элементами материального потока – предметами труда. Предметы труда – обрабатываемые сырье и материалы,

поковки, отливки и заготовки, детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты, которые находятся в движении в ходе основного производства.

Состав и характеристики материального потока определяются выпускаемой предприятием продукцией, предназначенной для продажи (изделия основного производства) или для собственных нужд предприятия (изделия вспомогательного производства). Различают следующие виды изделий:

- деталь – неспецифицированное изделие, не имеет составных частей и не может быть разделено на части без разрушения. Деталь может состоять из нескольких частей (предметов), приведенных в постоянное неделимое состояние каким-либо способом (например, сваркой);
- сборочная единица (узел) – специфицированное изделие, разъемное или неразъемное сопряжение нескольких деталей;
- комплексы и комплекты могут состоять из соединенных между собой сборочных единиц и деталей.

Изделия характеризуются следующими параметрами:

- конструктивной сложностью – число входящих в изделие деталей и сборочных единиц;
- размерами и массой – все изделия делят на мелкие, средние и крупные;
- видами, марками и типоразмерами применяемых материалов;
- трудоемкостью обработки деталей и сборки узлов и изделия в целом;
- степенью точности и шероховатости обработки деталей и точности монтажа сборочных единиц и изделий;
- удельным весом стандартных, нормализованных и унифицированных деталей и сборочных единиц.

Характеристики изделий определяют организацию производственного процесса в пространстве и во времени: специализацию цехов основного производства, состав оборудования и участков, их расположение, подбор подъемных кранов и транспортных средств, создание особых санитарно-гигиенических условий, подбор персонала.

В ПЛС производственные подразделения последовательно выполняют поглощение материального потока (производственное потребление материально-сырьевых ресурсов), преобразование элементов потока (изменение формы, состояния) и генерацию потока с новыми характеристиками (изготовление заготовок, деталей и сборка узлов). В зависимости от целевого назначения элементов материального потока выделим звенья:

- *основного производства* – производство основной профильной продукции или законченной части производственного процесса. По стадиям

производственного процесса звенья подразделяются на заготовительные (кузнечные, литейные), обрабатывающие (механический, термический, деревообрабатывающий) и сборочные (комплектация изделий).

– *вспомогательного производства* – изготовление вспомогательной по назначению продукции: инструмента и оснастки, моделей, тары, запасных частей для осуществления ремонтов оборудования; производство и передача энергии. К вспомогательным относятся ремонтно-механические, электроремонтные, ремонтно-строительные, инструментальные, модельные, тарные, опытные и электродные звенья, а также звенья энергетического хозяйства, а именно: понижающие станции, трансформаторные киоски в цехах, электросети, паропроводы, воздухопроводы, газопроводы, нефте- и бензопроводы, компрессорные, кислородные, ацетиленовые. Кроме этого, газогенераторные станции и котельные, связь и сигнализация.

– *побочного производства* – изготовление продукции из отходов производства, осуществление восстановления использованных вспомогательных материалов для нужд производства (например, цех по регенерации отходов и обтирочных материалов).

Внутрипроизводственные сервисные потоки многочисленны. Они связаны с обеспечением безотказного функционирования инфраструктуры производства (ремонтные монтажные, пуско-наладочные работы) и движением материального потока (перевозка, хранение, упаковка, маркировка материальных объектов), а также обеспечением производства данными и документацией (конструкторской, технологической, метрологической, плановой и отчетной о ходе производства, стандартов качества продукции и процессов и др.).

Выделяют звенья *обслуживающего хозяйства*:

– подразделения подготовки новых изделий и прогрессивной технологии, включая экспериментальный цех, лаборатории по испытанию новых материалов, продукции, технологических процессов;

– складское хозяйство, включающее в себя различного рода заводские склады и кладовые;

– транспортное хозяйство, в состав которого входят депо, гаражи, ремонтные мастерские, железнодорожные пути и необходимые транспортные и погрузочно-разгрузочные средства;

– санитарно-техническое хозяйство, объединяющее водопроводные, канализационные, вентиляционные и отопительные устройства;

– центральная заводская лаборатория, состоящая из механической, металлографической, химической, пирометрической, рентгеновской лабораторий.

В ПЛС осуществляются процессы проектирования и разработки продукции и процессов; формирования ресурсов; преобразования ресурсов для создания продукции; процессы перемещения ресурсов; процессы, обслуживающие производство; процессы вспомогательного и обслуживающего производства; процессы сбыта и поддержки; процессы управления и совершенствования системы. Соответственно, звенья, выполняющие указанные процессы, могут формировать подсистемы основного производства, продаж и сопровождения продукции, проектирования и разработки продукции, технической подготовки производства и обеспечивающую подсистему. Эти подсистемы в рамках бизнес-процесса охватывают виды деятельности, определяющие технологию выполнения процесса (способ выполнения деятельности).

Задача 2. Определить состав элементов ПЛС, управляющих движением элементов потоков.

Рассматривая декомпозицию ПЛС с выделением *звеньев, управляющих движением элементов* потоков, отметим, что целенаправленное изменение параметров потоков (объем, скорость, направление движения) и его качественных характеристик выполняется для максимального удовлетворения потребности рынка в конкретном товаре, информации о нем, возможностях его приобретения.

Исходя из процессного подхода, выделим и покажем взаимосвязи процессов управления как структурных элементов ПЛС (рис. 1.11).

Организационная структура (иерархическая, функциональная, матричная, проектная) – субъективный способ кластеризации отдельных элементов процессов по функциональным подразделениям, осуществляемый лицом, принимающим решения [39; 40]. Работы в рамках процессов планирования, организации, координации, контроля, анализа и регулирования движения потока распределены между службами, отделами, бюро исходя из подчиненности и согласованности действий. Процессы управления и совершенствования системы определяют систему менеджмента процесса. Управление включает в себя организацию процесса – первоочередную задачу владельца процесса – и оперативную координацию его выполнения, которая является зоной ответственности линейных менеджеров.

Процессы управление ПЛС обеспечивают основные компоненты информационной структуры *компьютеризированного интегрированного производства* (СІМ) (рис. 1.12).

Информационная структура состоит из трех уровней [41].

Уровень планирования ПЛС образуют:

– PPS (Production Planning Systems) – системы планирования и управления производством;



Рис. 1.11. Процессы управления как элементы производственно-логистической системы

Источник: [38].

- ERP (Enterprise Resource Planning) – система планирования ресурсов предприятия;
- MRP II (Manufacturing Resource Planning) – система планирования потребностей в материалах;
- CAP (Computer-Aided Planing) – система технологической подготовки;
- CAPP (Computer-Aided Process Planning) – автоматизированная система проектирования технологических процессов и оформления технологической документации;
- AMHS (Automated Material Handling Systems) – автоматическая система перемещения материалов;
- ASRS (Automated Retrieval and Storage Systems) – автоматизированная складская система;

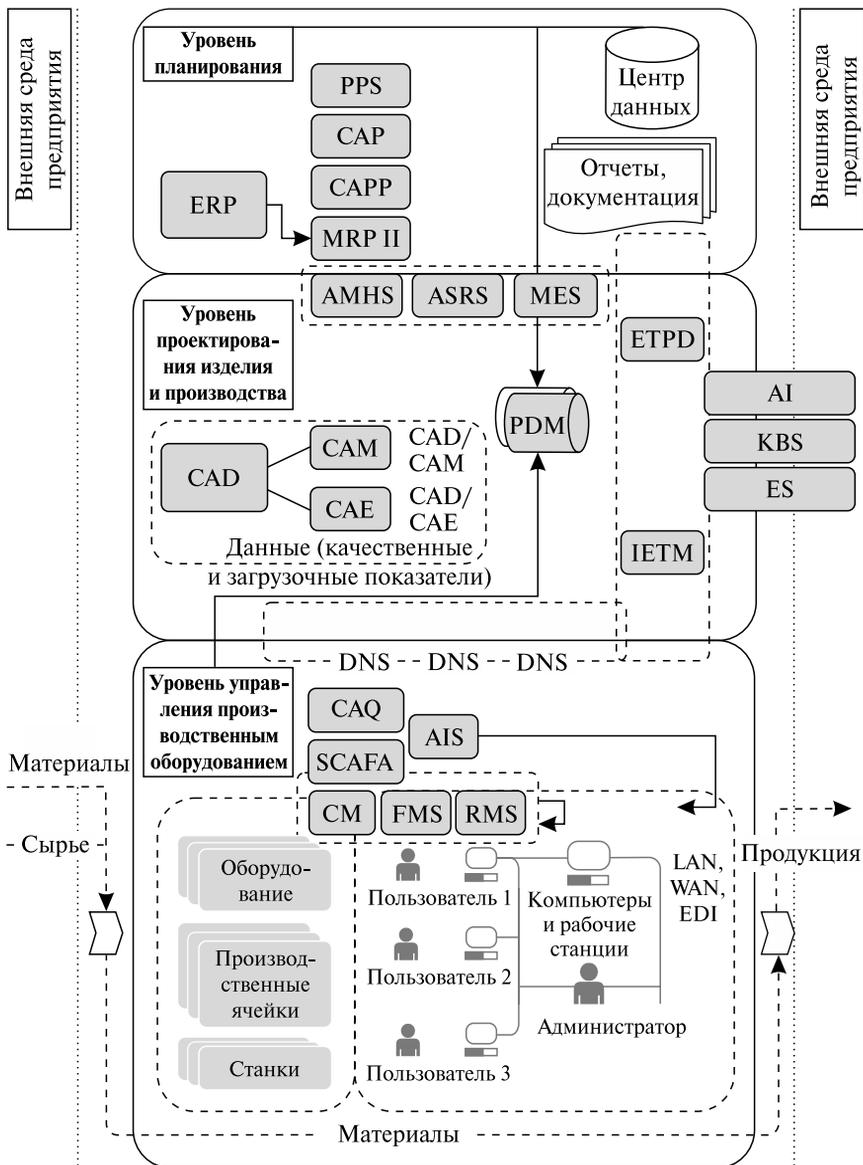


Рис. 1.12. Информационная структура компьютеризованного интегрированного производства

Источник: [41].

– MES (Manufacturing Execution System) – система управления производственными процессами;

– AI, KBS, ES (Artificial Intelligence/Knowledge Base Systems/Expert Systems) – системы искусственного интеллекта/системы баз знаний/экспертные системы.

Уровень проектирования изделия и производства включает в себя:

– PDM (Project Data Management) – система управления данными об изделиях;

– CAE (Computer-Aided Engineering) – система автоматизированного инженерного анализа;

– CAD (Computer-Aided Design) – система автоматизированного проектирования (САПР);

– CAM (Computer-Aided Manufacturing) – автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП);

– модификации указанных выше систем – интегрированные технологии CAD/CAE/CAM;

– ETPD (Electronic Technical Development) – система автоматизированной разработки эксплуатационной документации;

– IETM (Interactive Electronic Technical Manuals) – интерактивные электронные технические руководства.

Уровень управления производственным оборудованием представлен:

– CAQ (Computer Aided Quality Control) – автоматизированная система управления качеством;

– SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – диспетчерское управление и сбор данных;

– FMS (Flexible Manufacturing System) – гибкая производственная система;

– RMS (Reconfigurable Manufacturing System) – реконфигурируемая производственная система;

– CM (Cellular Manufacturing) – автоматизированная система управления производственными ячейками;

– AIS (Automatic Identification System) – система автоматической идентификации;

– CNC (Computer Numerical Controlled Machine Tools) – числовое программное управление (ЧПУ);

– DNC (Direct Numerical Control Machine Tools) – прямое числовое программное управление;

– PLCs (Programmable Logic Controllers) – программируемый логический контроллер (ГЛК);

- LAN (Local Area Network) – локальная сеть;
- WAN (Wide Area Network) – распределенная сеть;
- EDI (Electronic Data Interchange) – электронный обмен данными.

Информационная система производства получает данные из разрозненных производственных систем, баз данных, офисных приложений, ручного ввода и предоставляет эти данные пользователям и другим системам.

Звенья, связанные с обеспечением производства данными и документацией, образуют подсистему коммуникаций и информации. Отнесем к ней представленные на рис. 1.12 системы PDM (Project Data Management) – управление данными об изделиях; ETPD (Electronic Technical Development) – автоматизированная разработка эксплуатационной документации; IETM (Interactive Electronic Technical Manuals) – интерактивные электронные технические руководства; AI, KBS, ES (Artificial Intelligence/Knowledge Base Systems/Expert Systems) – искусственный интеллект/система баз знаний/экспертные системы. Они заняты хранением, обновлением, обеспечением доступа пользователей к актуальной информации: конструкторской, технологической, метрологической, плановой и отчетной о ходе производства, стандартов качества продукции и процессов. Сбор и обработку информации о состоянии оборудования и технологических процессов обеспечивают SCADA-системы.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – программно-аппаратный комплекс, который обеспечивает сбор информации о множестве удаленных объектов, поступающей с пунктов контроля, и ее отображение в едином диспетчерском центре, а также возможность управлять объектами, реагируя на различные ситуации. Модель SCADA-системы в обязательном порядке должна иметь подключенный непосредственно к контролируемому объекту удаленный терминал, диспетчерский пункт управления, осуществляющий обработку данных и управление высокого уровня в режиме квазиреального времени, и системы коммуникации терминалов (выделенные линии, радиосети, аналоговые телефонные линии, ISDN-сети, сотовые сети GSM (GPRS)).

Следует заметить, что информационные системы (программное обеспечение, данные, системы управления базами данных и операционными платформами); информационные технологии (методы, средства и способы формирования среды обращения информации) и информационный менеджмент (методы, средства и технологии управления информационными ресурсами) постоянно развиваются и модернизируются. В связи с чем следует отметить системы:

– CALS (Continues Acquisition and Life cycle Support) – система непрерывной информационной поддержки поставок и жизненного цикла изделия;

– CAD/CAE/CAM (computer-aided design / manufacturing / engineering) – система компьютерной поддержки проектирования / изготовления / инженерных расчетов;

– PLM (Product Lifecycle Management) – система управления жизненным циклом изделий;

– MES (Manufacturing Execution Systems) – система управления производственными процессами, включающая в себя модули управления логистическими цепочками SCM (ранее – DRP, Distribution Resource Planning); усовершенствованного планирования и составления производственных графиков APS (Advanced Planning and Scheduling); управления взаимоотношениями с клиентами – CRM (ранее назывался модулем автоматизации продаж – Sales Force Automation); управления данными об изделии PDM (Product Data Management); окончательного (детализированного) планирования ресурсов FRP (Finite Resource Planning);

– IRP (Intelligent Resource Planning) – система интеллектуального планирования;

– CSRП (Customer Synchronized Resource Planning) – система планирования ресурсов, синхронизированного с потребителями;

– APS (Advanced Planning & Scheduling Systems) – система синхронного планирования производства, ориентированная на интеграцию планирования звеньев цепи поставок;

– BI (Business Intelligence) – бизнес-аналитика.

В совокупности информационные системы обеспечивают совместную эксплуатацию приложений, основанных на разных платформах, использующих отличающиеся бизнес-модели и технологии управления данными.

Задача 3. Выявить натурально-вещественный состав необходимых производственных ресурсов.

Рассмотрим *натурально-вещественный состав* производственных ресурсов (факторов производства), необходимых в определенной комбинации для выполнения заданных функций в ПЛС (рис. 1.13).

Система ресурсов включает в себя взаимосвязанные и целесообразно функционирующие персонал, измерительные приборы и оборудование, инструмент, оснастку, компьютерные программы и ИТ-системы, технико-технологическую документацию, необходимые для обеспечения хода основного производства.



Рис. 1.13. Общая схема представления производственно-логистической системы: материально-вещественный подход

Источник: разработано автором.

Таким образом, ПЛС является производственной системой особого типа, что обусловлено следующими ее характеристиками:

1. Наличие целей функционирования и критериев эффективности их достижения, а именно: выпуск конкретной продукции заданного объема и уровня качества в минимальные сроки и с минимальными издержками.

2. Смешанная природа системы из-за участия в ней людей, машин, устройств, действующих под влиянием природной среды и возмущающих отклонений как с элементами неопределенности (непредсказуемо), так и по заданному алгоритму.

3. Разделение системы на подсистемы, разветвленная структура и значительное количество взаимосвязанных и взаимодействующих элементов (подсистем), имеющих собственное целевое назначение, подчиненное общему целевому назначению всей системы.

4. Наличие сложной организационной структуры с вертикальными связями между субъектом и объектом управления и горизонтальными связями между звеньями для реализации заданной цели. Управляющая система включает в себя логистический регулятор и измеритель рассогласований, возникающих за счет внешних и внутренних возмущений. Она оказывает прямое воздействие на объект и получает обратную связь, которую анализирует и на ее основе формулируют корректирующие воздействия на план работы объекта управления.

5. Объектом управления являются потоки: материальные – товаров или нематериальные – услуг, поступающих на товарные рынки, финансовый и информационный поток. В системе потоки генерируются, преобразуются и поглощаются. В звеньях ПЛС потоки могут сходить, разветвляться, дробиться, изменять свое содержание и параметры. Целенаправленное изменение параметров потоков (объем, скорость, направление движения) и его качественных характеристик выполняется для максимального удовлетворения потребности рынка в конкретном товаре, информации о нем, возможностях его приобретения.

6. Ограничение размеров системы, элементы самоорганизации, внутренние резервы обеспечивают допустимость временного изменения процессов функционирования в желательном направлении под влиянием управляющих воздействий и динамическое адаптивное поведение системы.

7. Структурные элементы (звенья) системы специализированы на выполнении процессов преобразования ресурсов для создания продукции, формирования и перемещения ресурсов, обслуживания производства, продажи и поддержки (сопровождения) продукции до конца ее жизненного цикла, а также процессы управления и совершенствования системы.

8. Звенья ПЛС образуют подсистему основного производства и обеспечивающую подсистему. Первая выполняет основной производственный процесс, в результате которого полученные на «входе» один или более видов ресурсов преобразуются «на выходе» в представляющий ценность для потребителя продукт. А вторая – процессы вспомогательные и обслуживающие, обеспечивающие движение трудовых, материальных и информационных потоков от источников их возникновения до конечного потребителя вдоль всей цепи создания стоимости продукта.

Современные ПЛС должны обеспечить исполнение интегрированного распределенного бизнес-процесса. Взаимодействующие в пределах цикла производства звенья выходят за рамки одного предприятия, одной страны, одного континента. Справедливо говорить о ПЛС как глобальной

цепи создания ценности. Главной задачей формирования такой системы становится обеспечение согласованного бесперебойного движения материальных и сопутствующих потоков в транснациональных транспортных коридорах. Связь между звеньями и координацию их совместной работы следует обеспечивать на базе управления цепями поставок.

Цель устойчивого развития ПЛС заключается в придании ей способности создавать добавленную стоимость длительный период за счет решения задач обеспечения ее устойчивости, адаптивности, гибкости и эффективности. Функциональные преобразования затрагивают состав и взаимосвязи элементов ПЛС, что создает возможности устойчиво генерировать добавленную стоимость, адаптироваться и гибко реагировать на спрос.

Ставится задача сделать ПЛС гибкой, быстро реагирующей на изменения рынка, устойчивой к влиянию факторов неопределенности, эффективной и конкурентоспособной. Это может быть обеспечено путем выстраивания непрерывного информационного обмена актуальными данными, мониторинга оперативных изменений и поддержки принятия решений в случае отклонений, внедрение алгоритмов быстрого реагирования. Система ведения бизнеса становится клиентоцентричной, что меняет не только порядок и сущность действий, но и саму организационную структуру ПЛС. Решение задач развития ПЛС возможно за счет комплекса цифровых технологий по всей цепочке создания продукта.

Глава 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Развитие производственно-логистических систем в условиях последовательной смены технологических укладов

Понимание значимости организации как некапиталоемкого фактора совершенствования и необходимости повышения выживаемости в динамичной среде приводит к осознанию необходимости постоянного развития производственно-логистических систем.

В общефилософском смысле развитие – необратимое направленное закономерное изменение объекта, в результате которого возникает его новое качественное состояние. Различают две формы развития: эволюционную, связанную с постепенными количественными и качественными изменениями, и революционную, характеризующуюся скачкообразным переходом от одного состояния объекта к другому.

Для выявления сущностных закономерностей развития ПЛС особую актуальность приобретает обращение к ретроспективному осмыслению смены типов систем. Типы производственных систем (ПС), как правило, определяются тремя компонентами – внешней средой, уровнем развития технологий и способами организации труда персонала.

Теоретической основой современного понимания технологического уклада являются работы Н. Д. Кондратьева. Рассматривая долгосрочные колебания экономической конъюнктуры, Н. Д. Кондратьев сделал вывод, что главная причина цикличности – это необходимость обновления

основных производственных фондов. Н. Д. Кондратьев отводил ключевую роль в развитии цивилизации научно-техническим инновациям [42].

Понятие технологического уклада как «целостного комплекса технологически сопряженных производств, представляющего собой макроэкономический воспроизводственный контур, охватывающий все стадии переработки ресурсов и соответствующий тип непроизводственного потребления» было введено в оборот в 1986 г. для объяснения причин возникновения длинных циклов, выявленных Н. Д. Кондратьевым, российскими учеными Д. С. Львовым и С. Ю. Глазьевым [43, с.798].

Отмечено, что производства, образующие технологический уклад, удовлетворяют следующим взаимодополняющим условиям:

- имеют примерно одинаковый технический уровень развития;
- объединены качественно однородными ресурсными и энергетическими потоками;
- пользуются общими ресурсами квалифицированной рабочей силы;
- опираются на научно-технический потенциал примерно одинакового уровня.

В качестве основных характеристик уклада С. Ю. Глазьев выделяет базисные технологии («ключевой фактор»), ядро уклада как комплекс технологически сопряженных производств и несущие отрасли уклада [44]. И отмечает, что каждый новый технологический уклад в своем развитии поначалу использует сложившуюся транспортную инфраструктуру и энергоносители, чем стимулирует их дальнейшее расширение; при этом фаза его быстрого роста сопровождается циклическим увеличением производства и потребления ВВП, а также его энергоемкости по сравнению с долгосрочным трендом. По мере развития очередного технологического уклада создается новый вид инфраструктуры, преодолевающий ограничения предыдущего, а также осуществляется переход на новые виды энергоносителей, которые закладывают ресурсную основу для становления следующего технологического уклада [45].

Смена укладов происходит по принципу изначального наслоения один на другой, вытесняя старый усовершенствованными технологиями. Фаза роста нового технологического уклада сопровождается перестроением предшествующих укладов на новый уровень в соответствии с основным трендом, снижением издержек, возрастает эффект от внедрения технологии данного уклада, увеличивается масштаб производства, наблюдается тенденция быстрого тиражирования технологии. Одновременно происходит процесс зарождения новейшего уклада, но его рост начнется только после достижения основного уклада пределов роста, так как развитие сдерживается внешней социально-экономической и технологической

средой. Таким образом, формирование уклада всегда происходит на основе предшествующего, который является источником материальных и интеллектуальных ресурсов.

В современных исследованиях выделяют от четырех до шести технологических укладов. Первые три описаны на основе положений, выдвинутых Н. Д. Кондратьевым и Й. А. Шумпетером, а четвертый, пятый и шестой – по аналогии.

Прослеживается последовательная смена различных типов ПС. Справедливо увязывать этапы развития ПС со сменой технологических укладов. Так, А. Ю. Сироткин основными этапами развития ПС считает орудийный (I технологический уклад), машинный (II, III, IV технологические уклады) и информационный (V и VI технологические уклады) [46].

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 г. «стратегической целью устойчивого развития Республики Беларусь является обеспечение высоких жизненных стандартов населения и условий для гармоничного развития личности на основе перехода к высокоэффективной экономике, основанной на знаниях и инновациях, при сохранении благоприятной окружающей среды для нынешних и будущих поколений» [1].

В Республике Беларусь значительная часть технологий относится к IV технологическому укладу, а почти треть и вовсе к III. Переход к технологиям V и VI технологическому уклада становится сложной задачей. К указанным укладам относятся информационно-коммуникационные технологии; биотехнологии; технологии в области микро- и радиоэлектроники; технологии в области роботостроения и приборостроения; технологии в области вычислительной, оптико-волоконной техники и офисного оборудования; технологии производства медицинской техники и оказание высокотехнологичной медицинской помощи; технологии производства фармацевтической продукции; технологии производства новых материалов с заданными свойствами; авиакосмические технологии; технологии в области атомной энергетики и возобновляемых источников энергии, а также технологии VI уклада: нанотехнологии; генно-инженерные и клеточные технологии; технологии искусственного интеллекта; аддитивные технологии.

Однако не только смена производственных технологий лежит в основе развития производственных систем. Поэтапное формирование и применение принципов научной организации труда и производства лежит в основе повышения эффективности организации производственных систем [47]. Выделяют три этапа:

– развитие научного управления – научная организация труда Ф. У. Тейлора (конец XIX в. – 20-е гг. XX в.);

– становление школы научного менеджмента – научная организация производства Г. Форда (20-е – 50-е гг. XX в.);

– бережливое производство – автономизация производственных систем Т. Оно (конец 50-х гг. XX в. – настоящее время).

В своей работе О. Н. Мельников, В. Г. Ларионов, Н. А. Ганькин также выделяют три эпохи развития организации производства: *тейлоризм*, *фордизм*, *тойотизм*, связывая типы систем с именами выдающихся инженеров, по существу создавших по отношению к каждой из предыдущих эпох инновационные методы организации производства, – Ф. Тейлора, Г. Форда, Т. Оно, С. Синго [48].

Г. А. Калинин рассматривает производственные системы XX в. – это система Форда (система массового производства) и XXI в. – это система Т. Оно (система компании Тойота, или TPS) и раскрывает суть последней [49].

О. Г. Туровец и В. Н. Родионова отмечают необходимость создания ПС нового поколения в связи с переходом к экономике, основанной на знаниях, где последние становятся ключевым ресурсом организации, в то время как традиционные факторы производства – природные ресурсы, капитал – приобретают второстепенное значение [4]. Соответственно, с их точки зрения ПС эволюционируют от эпохи массового производства (1940–1960 гг.) к эпохе качества (1970–1980 гг.), от эпохи качества к эпохе гибкости (1980–1990 гг.) и от эпохи гибкости к эпохе инноваций (1990 г. – по настоящее время).

Смену ПС связывают с индустриальными революциями, в качестве основы типологии берут ключевые технологические признаки. Так, Ю. В. Куприянов выделил в соответствии с четырьмя промышленными революциями следующие типы ПС [50]:

– *механизированные*, созданные в результате перехода от ручного к механическому производству (Индустрия 1.0);

– *синхронизированные* (конвейерные), созданные за счет перехода к поточному производству (Индустрия 2.0);

– *гибкие* (автоматизированные), созданные в результате автоматизации производства, использования станков с ЧПУ (Индустрия 3.0);

– *интегрированные* (киберфизические) – производство интегрировано с обслуживанием жизненного цикла изделия (Индустрия 4.0).

М. Р. Дзагоева, З. К. Айларова и Л. Э. Комаева приводят достаточно подробную периодизацию производственных систем от XVI в. до XXI в., выделив 20 автономных ПС, указав последней ПС на основе концепции «Бережливое производство». При этом они отмечают, что уже разработа-

ны концепции следующих поколений ПС: трансформационных, гибких, целостных, «зеленых», клиентоориентированных, которые соответствуют не только современным, но и будущим потребностям человека [51].

Исследователи Lu Y., Morris K. C., Frechette S. выделяют основные виды производственных систем в соответствии с парадигмами производства [52]. Системы бережливого, гибкого (Flexible), устойчивого, цифрового, облачного, интеллектуального, гибкого (Agile) производства выделены в таблице.

Виды производственных систем

Название	Суть
Система бережливого производства (Lean Manufacturing System)	Использование набора «инструментов», которые помогают в идентификации и устойчивой ликвидации всех видов отходов в производственной системе
Система гибкого производства (Flexible Manufacturing System)	Использование управляемой компьютером интегрированной системы модулей оборудования для обработки и транспортировки материалов для производства продукции с изменением объемом, процессов и типоразмеров
Система устойчивого производства (Sustainable Manufacturing System)	Создание продуктов с минимальным негативным воздействием на окружающую среду при сохранении энергии и природных ресурсов и повышении безопасности человека
Система цифрового производства (Digital Manufacturing System)	Использование цифровых технологий в течение жизненного цикла продукта для улучшения продукта, процесса и производительности предприятия, а также сокращения времени и стоимости производства
Система облачного производства (Cloud Manufacturing System)	Форма децентрализованного и сетевого производства, основанная на облачных вычислениях и сервисориентированной архитектуре
Система интеллектуального производства (Intelligent Manufacturing System)	Автоматическая адаптация к изменчивым условиям окружающей среды и варьирующимся требованиям к процессам с минимальным вмешательством человека за счет использования искусственного интеллекта

Название	Суть
Система гибкого производства (Agile Manufacturing System)	Использование эффективных процессов, инструментов и обучения, чтобы дать возможность системе быстро реагировать на потребности клиентов и отмечать изменения с одновременным контролем затрат и качества
Система Умного производства (Smart Manufacturing System)	Интенсивное и всеобъемлющее использование сетевых информационных технологий и киберфизических систем на всех этапах производства продукции и ее поставки

Источник: [52].

В названии систем лежит одна из целевых установок ее развития. Построение системы Умного производства (Smart Manufacturing System) связывается с внедрением цифровых технологий. Эта система призвана охватить перечисленные системы и стать наиболее передовой системой производства. Таким образом, развитие конкретной ПЛС представляет собой процесс изменения ее элементов в целях приведения их в соответствие с технологиями новейшего уклада, соответствующими преобладающей парадигме производства.

2.2. Цифровая трансформация экономики как новое условие функционирования производственно-логистических систем

Исследование показало, что в международной практике до сих пор не сложилось определение цифровой экономики. В работах ряда авторов [53–56] в основном при определении цифровой экономики акцентируется внимание на технологиях, изменениях в способах производства, управления, коммуникации и взаимодействиях субъектов экономики, а также перечисляются направления ее влияния на экономику и социальную сферу. Обобщение общих черт в определении цифровой экономики и результаты анализа этой проблемы позволило дать следующее авторское ее определение.

Цифровая экономика (digital economy) – это система экономических, социальных и культурных отношений, возникающих по поводу создания, распространения и использования технологий сбора, хранения, обработ-

ки, поиска, передачи и представления данных в электронном виде (цифровых технологий) и связанных с ними продуктов и услуг.

В узком значении можно говорить о цифровой экономике как об индустрии цифровых товаров и услуг, цифровизации физических активов. Следует также согласиться с мнением профессора М. М. Ковалева, что «цифровая экономика выступает дополнением к реальной экономике, является ее координирующей инновационной надстройкой, которая не может существовать обособленно от материального производства. Любая цифровая платформа имеет аналоговый базис, который первичен и в отсутствие которого цифровая надстройка превращается в виртуальную абстракцию, оторванную от реальности» [57].

Переход к цифровой экономике связывается с понятием ее цифровой трансформации. В глоссарии ЕЭК дано следующее описание «цифровой трансформации экономики» [58]:

- изменения традиционных рынков, социальных отношений, государственного управления, экономического уклада, связанные с проникновением цифровых технологий;

- принципиальное изменение основного источника добавленной стоимости и структуры экономики за счет формирования более эффективных экономических процессов, обеспеченных цифровыми технико-технологическими средствами и цифровыми инфраструктурами;

- переход функции лидирующего механизма развития экономики к институтам, основанным на цифровых моделях и процессах.

Результаты авторского исследования процессов построения цифровой экономики в Китае [59; 60] позволяют выделить факторы, которые способствуют развитию цифровой трансформации экономики и в некоторой степени перенести их на отечественную почву.

С 2010 г. экономика Китая по объемам ВВП вышла на второе место после США. В 2018 г. рост ВВП замедлился до 6,6 %, ВВП составил 13,6 трлн долл. США, что составило 15,86 % мирового объема ВВП.

В 2016 г. размер цифровой экономики (ЦЭ) Китая по оценке OECD [61] составил 6 % ВВП. Китайская академия информационных и коммуникационных технологий (CAICT) оценила долю ЦЭ на уровне 30 % от ВВП.

В 2018 г. объем рынка ЦЭ Китая достиг 31,3 трлн юаней (4,6 трлн долл. США) или 34,8 % от ВВП, масштаб цифровой индустриализации составил 6,4 трлн юаней (0,94 трлн долл. США), объем промышленной цифровизации достиг 24,9 трлн юаней (3,66 трлн долл. США), в сфере ЦЭ занято 191 млн чел. или 24,6 % от общего количества занятых. В Китае в 2018 г. объем оборота ЭТ достиг 31,6 трлн юаней (4,65 трлн долл. США), что обеспечило операционную прибыль 3,5 трлн юаней (0,51 трлн долл. США),

а в первой половине 2019 г. объем розничной ЭТ вырос на 17,8 % и достиг 4,82 трлн юаней (0,71 трлн долл. США) [62].

Именно процессы цифровой трансформации стали локомотивом развития экономики Китая. Около 7 % ВВП составляет общий объем основных секторов ЦЭ, включая электронную промышленность, индустрию коммуникации и ИТ, программное обеспечение, ИТ-сервис. А размер традиционных секторов, переведенных в цифровую форму, увеличился с 10 % ВВП в 2008 г. до 25 % в 2017 г. [63].

Хотя Китай по рейтингам ЦЭ находится на среднем уровне в мире, но он лидирует в трех отраслях: электронная торговля (ЭТ), мобильные платежи и венчурные инвестиции [64]. В 2016 г. рынок ЭТ Китая составлял более 42,4 % мирового. Объем мобильных платежей в 2016 г. – 790 млрд долл. США, что в 11 раз больше, чем в США. Доля интернет-пользователей выросла с 25 % в 2013 г. до 68 % в 2016 г.

Китай находится в тройке мировых лидеров по объему венчурного капитала в цифровые технологии (рис. 2.1).

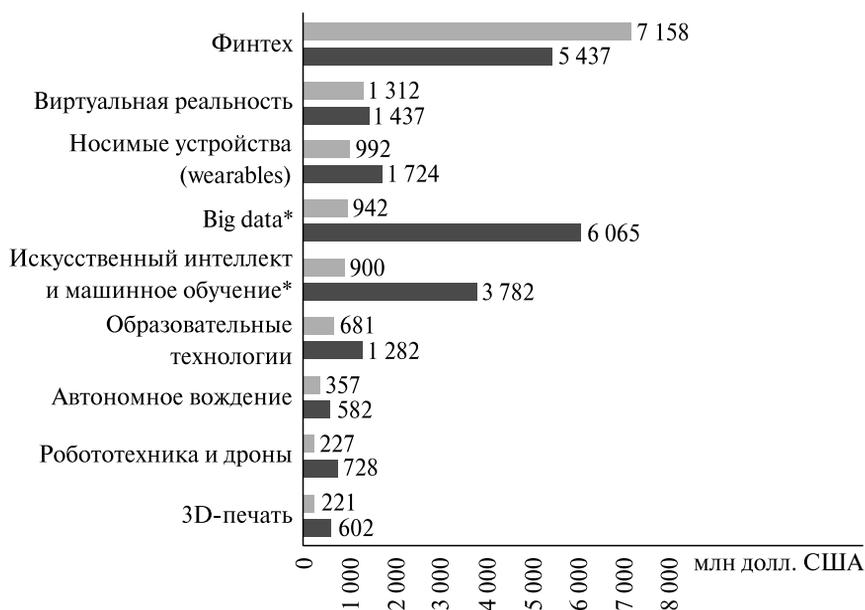


Рис. 2.1. Венчурные инвестиции в цифровые технологии, 2016 г.

Условные обозначения: ■ – Китай; ■ – США

Примечание. * Китай на второй позиции вслед за Великобританией.

Источники: разработано автором по данным [64], опубликовано в [60].

И если на июнь 2016 г. в Китае число компаний-«единорогов» составило 34, то на январь 2019 г. таких компаний было 186, из них 45 – в сфере онлайн-услуг, 20 – в ЭТ, 11 – Big data и облачные вычисления, 11 – логистика, 10 – транспорт, 5 – «умное» оборудование, 3 – новый ритейл [65].

Анализ [61–64; 66] позволил выделить факторы роста ЦЭ Китая:

1. Огромный размер рынка и колоссальные размеры группы пользователей Интернета. Так, на 2016 г. из 731 млн интернет-пользователей 695 млн или 95 % используют мобильные телефоны, а 282 млн или 39 % являются «digital native».

В 43 статистическом докладе Китайского информационного центра развития Интернета (CNNIC) указано, что степень доступности Интернета выросла до 59,6 % или на 3,8 п. п. относительно 2017 г. На конец 2018 г. Интернетом пользовалось 829 млн китайцев (годовой прирост 7,3 %), из них 98,6 % для выхода в Интернет использовали мобильные телефоны. А по данным отчета Сетевого информационного центра Китая, к концу июня 2019 г. 639 млн (74,8 %) интернет-пользователей совершали покупки онлайн, из них 622 млн – через смартфоны и планшеты.

2. Государственная поддержка. Цель правительства – обеспечить переход от производства к инновациям, от бренда «Сделано в Китае» к бренду «Придумано и разработано в Китае». Задачи развития ЦЭ отражены в программных документах: Национальная среднесрочная программа развития науки и технологий (2006–2020 гг.), Государственная стратегия по развитию информатизации (2006–2020 гг.), программы «Цифровая экономика – 2020: план действия для китайских предприятий», «Цифровой Китай» (2016–2021 гг.), «Сделано в Китае – 2025» и «Интернет плюс», задача которых заключается в повышении производительности с использованием цифровых технологий и «зеленых» стандартов и трансформации промышленности с использованием цифровых технологий.

3. Благоприятная для цифровизации экосфера, созданная интернет-гигантами Baidu, Alibaba, Tencent (BAT), чья доля в общем объеме венчурного инвестирования в 2016 г. составила 42 %. На платформе «Алибаба» зарегистрировано 11 млн предприятий и 30 млн рабочих мест, на платформе «Диди-такси» (аналог «Убера») зарегистрировано 13 млн водителей, сфера ИТ предлагает 1,4 млн рабочих мест для специалистов.

Можно выделить две волны цифровой трансформации (DX). Первую волну DX возглавили технологические гиганты BAT, JD и некоторые из самых последних технических единорогов, включая Didi Chuxing, ByteDance (TikTok и Toutiao), RED и Meituan Dianping. Отчет о состоянии цифровой трансформации в Китае [67] отражает направленность DX.

Так, отвечая на вопрос «DX какой бизнес-единицы вы поддерживаете?», респонденты в Китае указали подразделения, ориентированные на потребителя (рис. 2.2).

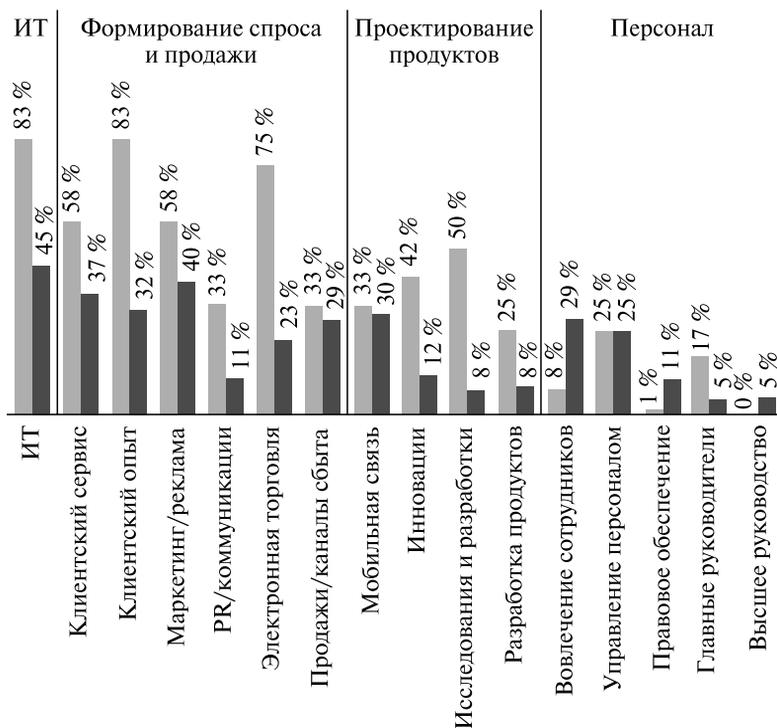


Рис. 2.2. Драйверы цифровой трансформации, 2019 г.
Условные обозначения: ■ – Китай; ■ – остальной мир

Источник: разработано автором по данным [67], опубликовано в [60].

Так, 83 % DX в Китае касаются клиентского опыта, 58 % маркетинга, 75 % ЭТ, по сравнению с 32 %, 40 %, 23 % в мире соответственно. Китай применяет DX в отношении разработки новых продуктов: так, поддерживается DX исследований и разработок (50 % против 8 %) и инноваций (42 % против 12 %), но меньше уделяет внимания DX внутренних процессов.

Вторая волна DX смещает акценты с коммерции на производство. В 2019 г. доля Китая в 375,8 млрд долл. США расходах Азиатско-Тихо-

океанского региона на технологии и услуги, обеспечивающие DX бизнеса, продуктов и организаций, составила 60 % [68].

Наибольшие инвестиции в Китае направляются на DX дискретного производства (55,3 млрд долл. США, 66 % в регионе), процессного производства (30,6 млрд долл. США, 65 %) и государственного и местного управления (20,9 млрд долл. США). Важнейшим приоритетом инвестирования является Умное производство и цифровая оптимизация цепочки поставок.

В рамках первого инвестиции направляются на автономные операции (25,5 млрд долл. США), роботизированные системы производства (25,2 млрд долл. США), анализ первопричин (Root Cause) в управлении качеством (16,5 млрд долл. США) и управление грузоперевозками (13,8 млрд долл. США). В дальнейшем наибольший рост вложений ожидается в виртуализированные лаборатории (в среднем на 132 %), в инструментарий, который используется при проектировании, тестировании, анализе, оценке ущерба, рисков и стоимости оптимизации и устранении неисправностей высокопроизводительных сетей Wi-Fi (Site Survey – Damage, Risk and Value Assessment) (в среднем на 78,5 %) и в инструментарий поддержки операций по добыче полезных ископаемых (в среднем на 65,9 %) [68].

Следует подчеркнуть, что именно рост электронной коммерции вызывает ускоренную цифровую трансформацию ритейла и логистики Китая. В ходе DX формируется «усиленный цифрой» физический ритейл (Digitally-powered physical retail). Уже работает омниканальный фулфилмент, оцифровка в магазине (physical + digital = «phygital») и новые модели выхода на рынок [69]. Омниканальный фулфилмент реализует концепцию O2O (Online-to-Offline). Это комбинация действий в сети и в магазинах: покупка онлайн и самовывоз, подбор офлайн и закупки онлайн, сканирование QR-кода в магазине и исследование онлайн (выявление подробностей, цены, отзывов, популярности товара, иных удобных способов покупки) и покупки, персонализированные услуги доставки (размеры, цвета, наборы товаров, примерка, возврат непонравившихся вещей). Оцифровку в магазине обеспечивают оплата смартфоном, использование интерактивных экранов, электронных ценников, системы распознавания лиц, виртуальной и дополненной реальности, обслуживания роботами. Новые модели выхода на рынок (go-to-market model) включают в себя Умные вендинговые автоматы, безлюдные магазины, продажи кастомизированного продукта, краудфандинг.

Анализ ряда источников позволяет утверждать, что DX ритейла вызовет и ускорение трансформации логистики, которая идет по пути создания:

– интеллектуальной логистической сети в транснациональных масштабах. Для этого холдинг Alibaba Group выделил в 2018 г. 15,6 млрд долл. США компании Cainiao Network Technology на создание двух частей сети [70]. Международная сеть, соответствующая платформе eWTP (Electronic World Trade Platform), охватывает участников инициативы One Belt and One Road. Доставка в ней будет выполняться в течение 72 ч. Внутренняя сеть охватит более 2 700 населенных пунктов, в 1 500 из которых гарантируется доставка в течение 24 ч. Сеть будет связана со всеми операторами логистики в Китае, а это более 3 000 партнеров Cainiao, в которых суммарно работает более 3 млн курьеров, а общая площадь складов, центров переделки и сортировочных пунктов превышает 30 млн м²;

– интегрированных омниканальных супермаркетов – подключенной сети розничных магазинов по схеме «заказ онлайн + доставка за час». Объединение Tmall Supermarket и Taoxianda, проекта доставки за час, запущенного в марте 2018 г. между Taobao и платформой электронной коммерции Sun Art Retail [71], позволяет потребителям размещать заказы через приложение Taobao и получать их по сетям доставки, работающим через платформу. Так, на август 2019 г. в Alibaba оцифровали более 800 автономных розничных магазинов в 278 городах, подключив их через Taoxianda, 485 гипермаркетов SunArt и довели онлайн-заказы на продукты до 6,5 % от общей выручки;

– Умных сетей доставки заказов. В решении проблемы «последней мили» центральная роль у логистической компании Cainiao, которая выстраивает цифровую логистическую сеть (подразделение Cainiao Smart Logistics), личную платформу курьера (Cainiao Guo Guo), сеть станций «последней мили» (Cainiao Post) и цифровую сеть доставки посылок (Cainiao Network) [72]. Наряду с экспресс-доставкой Cainiao разработала решения для доставки заказов на станции самовывоза, а также в постаматы самообслуживания. Cainiao Post обрабатывает около 10 % созданных продажами Taobao и Tmall пакетов;

– уберизация доставки. Приложение Cainiao Guoguo предлагает краудсорсинг услуг по сбору и доставке посылок и обработке возвратов. Создана цифровая платформа, которая показывает данные о перевозчиках и их услугах, позволяет им обмениваться наличием свободных мест для загрузки, предлагает оптимизацию маршрутов и карты. К концу августа 2019 г. Cainiao Guoguo имело 100 млн пользователей в год и обработало 38 % возвращенных пакетов, сгенерированных потребителями на онлайн площадках. Кроме того Alibaba в 2018 г. приобрела компанию по доставке продуктов питания Ele.me, которая управляет водителями-мотоциклистами. Она будет координировать доставку и индивидуальные услуги через платформу Ele.me, где будут доступны продукты сети Freshippo;

– применение автономного транспорта, управляемого искусственным интеллектом (ИИ). Китайский гигант ЭТ JD.com запустил в г. Чанша (провинция Хунань) курьерскую станцию площадью 600 м², где 20 роботов-курьеров обслуживают потребителей в радиусе 5 км [73]. Робот – грузовой танк с 22 слотами для посылок – способен осуществить 2 000 доставок в год и оснащен технологией распознавания лиц. В 2017 г. Baidu запустила проект Apollo по созданию глобальной экосистемы автономных беспилотных автомобилей, в который вошли Intel, Nvidia, Ford, Bosch и Microsoft. Цель Baidu – создать платформу ИИ для обработки автономного вождения в городских районах к концу 2020 г. Это шаг Baidu можно оценить как часть более широкого стремления Китая стать ведущим центром для ИИ.

Таким образом, созданная цифровая экосистема наряду с государственной поддержкой инноваций и программами развития Китая стимулирует расширение цифровой трансформации от ритейла и логистики до создания Умного производства и оптимизации цифровых логистических цепей.

Осмысление опыта Китая и применение в практике построения цифровой экономики его наиболее успешных решений, несомненно, является полезным и необходимым шагом. Следует сказать, что некоторые цифровые инициативы, например, магазины-автоматы по доставке пищи, не пошли далее пилотных проектов, не встретив отклика у потенциальных пользователей. Изучение позитивного и негативного опыта решений по цифровой трансформации позволит избежать ошибок и исключить из рассмотрения решения, интересные с технической, а не с коммерческой стороны.

2.3. Влияние четвертой промышленной революции на состав, структуру, процессы и модели работы производственно-логистических систем

Структурные изменения ПЛС за счет внедрения цифровых технологий являются ответом на вызовы четвертой промышленной революции [74, 75].

Термин «четвертая промышленная революция» или «Индустрия 4.0» был широко растиражирован на Давосском экономическом форуме в 2016 г., хотя именно программа правительства Германии «Индустрия 4.0», озвученная в 2011 г., стала началом инновационной гонки технических решений нового поколения [76].

Важнейшими характеристиками четвертой промышленной революции являются [77]:

– преобразование homo sapiens в phono sapiens, что означает трансформацию человека разумного в человека, деловая и личная жизнь которого неразрывно связана с мобильным устройством;

– создание новых знаний на основе сбора, классификации, обработки и анализа значительных массивов информации;

– конкуренция искусственного интеллекта с человеческим в определенных сферах деятельности;

– переход к массовой кастомизации и персонализации продукции.

Исследователи выделяют следующие последствия четвертой технологической революции [78]:

– масштабирование процессов цифровизации. Перевод проектирования ПЛС, контроля и управления ими из аналоговой в цифровую форму. Создания высокоточных, сверхбыстрых и высокопроизводительных автоматически управляемых систем, способных массово производить максимально соответствующий индивидуальным требованиям потребителей глубоко кастомизированный продукт;

– цифровая экономика второго поколения превращается в датацентричную. Данные перемещаются в цифровые облака, а каналом их обращения служит Интернет. Формирование цифровых платформ, интегрирующих данные, и разработка обрабатывающих эти данные программных приложений становятся ключевым механизмом управления всеми технологическими процессами;

– экспоненциальный рост степени использования передовых производственных технологий, в том числе:

- нетрадиционных методов обработки материалов (аддитивное и атомарно-точное производство), природоподобных (бионика, биоинженерия, синтетическая биология, биотехнологическое производство), мета- и суперматериалов с программируемыми и изменяемыми свойствами;

- роботизированных и автоматизированных систем, распределенных реестров (блокчейн), цифровых сенсоров, датчиков, исполнительных механизмов и систем управления, дополненной, виртуальной реальности, искусственного интеллекта;

- управление на базе математических моделей и цифровых данных всеми технологическими объектами и процессами, подключение технологических объектов и человека к Интернету всего (Internet of everything), к нейронным сетям;

– переход к платформенным решениям, от потребления продукта к потреблению сервисов (модель продаж «as a Service»). Цифровые платформы

создаются из отдельных модулей и приложений различных поставщиков благодаря их конструктивной и цифровой совместимости, а доступ покупателя к ним идет через посредника – держателя цифровой платформы;

- активное развитие предсказательных систем управления и обслуживания технологических продуктов, основанных на создании, передаче и обработке данных. Это позволяет принимать в потоковом режиме и анализировать данные о состоянии механизмов, предсказывать их отказы, осуществлять обслуживание и предупредительные ремонты;

- переход к расширенному управлению жизненным циклом продукта (PLM). Освоение бизнес-модели «продукт как сервис», основанной на трансформации услуг по запросу в интегрированное предложение продуктов и услуг по мере использования продукта на разных стадиях его жизненного цикла.

Следует согласиться с мнением исследователей (П. Куприяновский и др., 2017), что в ходе цифровых преобразований стоит не только вопрос о передовой автоматизации, но об охвате трех производственных измерений [79]:

- вертикальная интеграция, гибкие и реконфигурируемые производственные системы внутри предприятий (Умные фабрики);

- горизонтальная интеграция внутригрупповых цепей добавленной стоимости (Умные цепи поставок);

- интеграция жизненных циклов продуктов и цифровой инженерной деятельности по всей цепочке создания стоимости продукта и связанной с ней системой производства.

Индустрия 4.0 не только повысит операционную эффективность действующих предприятий за счет прорывных технологий, но и приведет к формированию следующего поколения организационно-технических моделей заводов [80, 81]. В. И. Тарасов в своей работе [80] выделил три модели, которые формируются в зависимости от подхода к удовлетворению спроса:

- «умные» автоматизированные заводы, которые нацелены на массовое производство продукции с низкой себестоимостью за счет использования цифровых технологий;

- заводы, ориентированные на клиента, которые стремятся быстро реагировать на рыночные изменения и предполагают создание персонализированного предложения для клиента в значительных объемах по доступной цене;

- мобильные заводы, которые нацелены на нишевые и территориально удаленные рынки. У них относительно небольшие объемы производства, низкие капитальные затраты и высокая мобильность. Такие

заводы производят ограниченный ассортимент продукции, но могут быть развернуты и выведены на производственную мощность в сжатые сроки.

Задача создания глубоко кастомизированных изделий при их высокой сложности в массовых масштабах стоит перед фабриками будущего Индустрии 4.0 (рис. 2.3).

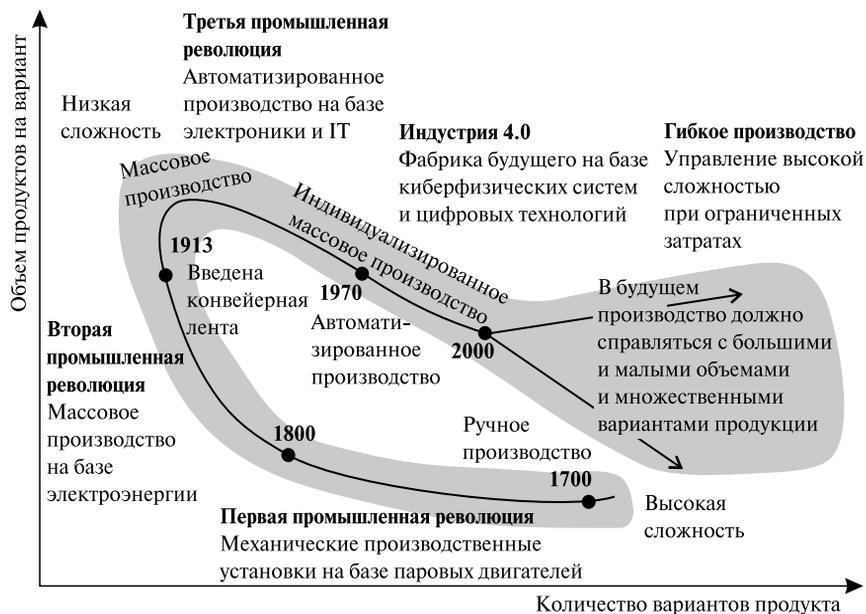


Рис. 2.3. Временной цикл изменения массовости и вариативности производимых изделий

Источники: [82, с. 63].

Итогом третьей промышленной революцией стала автоматизация значительной части операций, связанных с тяжелым физическим трудом, внедрение в производство станков с ЧПУ, информатизация производственных процессов, освоение более совершенных производственных технологий и средств управления. Техничко-технологическим ядром четвертой промышленной революции выступает промышленный Интернет вещей, искусственный интеллект, облачные технологии, робототехнические, киберфизические системы.

Результатом четвертой промышленной революции являются не только изменения в производстве, но и возникновение новых бизнес-моделей работы ПЛС. Среди них [56]:

– цифровые платформы, обеспечивающие прямое взаимодействие продавцов, покупателей и партнеров-поставщиков, минимизирующие транзакционные издержки и расширяющие возможности совместного потребления товаров и услуг;

– сервисные бизнес-модели, основанные на использовании ресурсов взамен владения ими (включая Software-as-a-Service (SaaS), Infrastructure-as-a-Service (IaaS) и др.);

– бизнес-модели, в основе ценообразования которых лежит достижение результатов (outcome based models) и эффекта для клиента, в том числе на основании потребления комплексных продуктов и услуг Product-as-a-Service (PaaS);

– краудсорсинговые модели, базирующиеся на привлечении внешних ресурсов (денежных средств, людей, идей и др.) для реализации бизнес-процессов;

– бизнес-модели, основанные на монетизации персональных данных клиентов, когда бесплатные для пользователей сервисы продают их данные на других потребительских сегментах.

Особое внимание уделяется также и инновационным бизнес-моделям, обеспечивающим циркулярную систему производства и потребления [83–85]:

Циркулярные поставки (Circular suppliers) – модель, в которой ограниченные ресурсы заменяются на полностью возобновляемые источники.

Восстановление ресурсов (Resources recovery) – модель, основанная на использовании технологических инноваций по восстановлению и повторному использованию ресурсов, обеспечивающая устранение их потерь благодаря снижению отходов и повышению рентабельности производства продукции от возвратных потоков.

Платформы для обмена и совместного использования (Sharing platforms) – модель, которая строится на обмене или совместном использовании товаров (райдшеринг, каршеринг и услуги водителей по требованию, аренда жилья на время путешествий, совместного использования домов для постоянного проживания, подработка в свободное от основной работы время). Обеспечивает продвижение платформ для взаимодействия между собственником и пользователями продукта (С2С, В2С и В2В сегменты), повышая уровень его использования.

Продление жизненного цикла продукции (Product life extension) – модель, которая позволяет продлить жизненный цикл использования продуктов за счет ремонта, модернизации, реконструкции или восстановления.

Общей чертой для новых бизнес-моделей является клиентоориентированность (customer-centric). Ключевым источником создания стоимости

становится высокоскоростная обработка больших данных, а основным параметром конкурентоспособности новых бизнес-моделей – скорость вывода нового продукта на рынок (time-to-market).

К основным элементам новых бизнес-моделей можно отнести цифровые сервисы (включая сервисы реального времени), индивидуализацию конкретного экземпляра продукта, вовлечение конечного потребителя в процесс, сопровождение клиента в течение всего жизненного цикла продукта. Это вызывает необходимость создания систем многоуровневой кооперации с большой степенью интегрированности участников, управления потоком из единичных заказов, переход от цепочек поставок к сети поставок.

Система ведения бизнеса стала клиентоцентричной, что меняет не только порядок и сущность действий, но и саму организационную структуру компании, в которой появляются новые должности и функциональные подразделения, работающие для развития и внедрения цифровых решений.

Стратегия цифровизации формируется через набор модулей, которые можно считать универсальными и действенными практически для любого современного бизнеса [86]:

1. *Цифровизация обеспечения клиентского сервиса.* Внедрение цифровых технологий, которые позволяют обеспечить быструю и обоснованную реакцию на внешнюю среду: инструменты омниканальности; аналитические возможности; технологии скоринга и адаптивности; инструменты мониторинга и прогнозирования. Переход к интерактивному взаимодействию через системы обратной связи, включающие осознанный отклик клиента и сбор информации по цифровому следу клиента.

2. *Партнерская инфраструктура.* Цифровые программы работают на развитие гибкости и интеграции, позволяя объединять различные бизнесы и сервисы на принципах партнерского взаимодействия за счет того, что ускоряется процесс анализа, обобщения и сопоставления информации и возникает технологическая возможность объединить ресурсы.

3. *Обработка данных.* Технологии обработки данных дают возможность адаптировать существующие продукты и услуги, создавать прогнозы развития ситуации, когда потребитель чутко реагирует на уровень логистического сервиса и персонализированный подход.

4. *Разработка инноваций и их внедрение в деятельность компании.* Переход от разработки жестких проектов к модели, подразумевающей систематический анализ рыночных изменений, эксперименты и тестирования на постоянной основе для непрерывного процесса внедрения инноваций.

5. *Создание дополнительной ценности продукции для потребителя.* Поднятие ценности продукции в восприятии клиента через дистанционную

покупку, доступности консультаций по использованию или обслуживанию, оплаты товаров и услуг онлайн в момент возникновения потребности и готовности совершить данную покупку.

Индустрия 4.0 предусматривает сквозную цифровизацию всех физических активов бизнеса и их интеграцию в цифровую экосистему вместе с партнерами, участвующими в цепочке создания стоимости [80].

Выделяют следующие основные тренды развития цепей поставок [87]:

- исключение промежуточных звеньев цепи, работа напрямую с клиентом без торговых посредников;
- полная прозрачность и отслеживаемость на протяжении всей цепи;
- совместное использование мощностей, систем хранения и доставки, транспорта, пунктов выдачи, курьерских служб;
- внедрение цифровых технологий – RFID, Mobile app, Big Data, Cloud Services, IoT, BlockChain, 3DPrinting и др.

Исследователи отмечают, что кроме цифровизации цепей поставок, большое внимание мировые лидеры уделяют сегментации цепей поставок, клиентоориентированности бизнеса, повышению устойчивости, динамичности и прозрачности цепей поставок [88].

2.4. Цифровая трансформация производственно-логистических систем

Термин цифровая трансформация сегодня интерпретируется как новый этап применения современных технологий для кардинального повышения производительности труда и ценности предприятий, промышленности и экономики в целом. Обобщая многочисленные публикации, можно говорить о том, что термин «цифровая трансформация» рассматривается по трем направлениям:

- оцифровка (Digitisation) – это преобразование аналоговых данных и процессов в машиночитаемый формат (цифровую форму);
- цифровизация (Digitalisation) – это использование цифровых технологий и данных, появление новых или изменение существующих видов деятельности в связи с ними. Цифровая обработка – метод обработки информации на основе численных методов с использованием цифровой вычислительной техники;
- цифровая трансформация (Digital Transformation) – это фундаментальное переосмысление бизнес-моделей и операций, связанное с множеством цифровых технологий.

Цифровая трансформация относится к экономическим и социальным последствиям оцифровки и цифровизации. Таким образом, упор делается

на новые возможности, которые цифровые технологии дают организациям. Однако технологии закладывают предпосылки для получения полного и всестороннего эффекта, но без преобразования организационно-экономических отношений и реорганизации деятельности предприятия их использование не будет успешным. Технологии не в состоянии изменить бизнес, если не подкреплены необходимыми организационными изменениями.

Под трансформацией (лат. *transformatio* – изменение) мы будем понимать преобразование структур, форм и способов, изменение целевой направленности деятельности, которое в результате способствуют приведению системы к новому качественному состоянию.

Соответственно, цифровая трансформация ПЛС (ЦТ ПЛС) – преобразование структур, форм и способов, целевой направленности деятельности ПЛС за счет освоения инновационных и цифровых технологий, результатом которого является создание цифровой ПЛС, где бизнес-модели, жизненные циклы и бизнес-процессы построены на первичности цифрового представления ее основных продуктов и услуг.

Такой переход необходим для достижения максимального уровня актуальности данных, быстрого эффективного клиентоориентированного реагирования.

В соответствии с терминологической базой теории систем состояние ПЛС – упорядоченная совокупность значений параметров (внутренних и внешних), определяющих ход происходящих в системе процессов. Ее функционирование – это уникальный стохастический целенаправленный процесс, в ходе которого ПЛС переходит из одного состояния в другое («смещается в пространстве состояний») [39; 40].

Трансформация ПЛС – совокупность действий, обеспечивающих необратимое целенаправленное закономерное изменение свойств (формы), связей (структуры) и внутренней упорядоченности (организации) звеньев путем выбора и создания наиболее эффективного по заданному критерию его варианта. В результате этих действий повышается степень, в которой ПЛС определена, управляема, измерима, контролируема и результативна, достигается требуемый уровень эффективности преобразования входящих потоков в конечный результат в рамках системы.

Проведенный анализ показал, что совершенствование ПЛС происходит в двух основных направлениях:

– усиление формализации, стандартизации, документируемости бизнес-процессов, их измеряемости (увеличения числа нормативных параметров и корректности их определения) за счет цифровизации процессов в ПЛС;

– адаптация к внешней бизнес-среде с выходом на формирование будущего спроса и соответствия продукции скрытым потребностям клиента, что происходит за счет цифровой трансформации ПЛС.

ЦТ ПЛС охватывает изменения по ряду направлений:

– организационные – процессы освоения новых форм и методов организации и регламентации деятельности, инновации, предполагающие изменения соотношения сфер влияния всех звеньев (как по вертикали, так и по горизонтали), социальных групп или отдельных лиц;

– технико-технологические – в форме новых продуктов, технологий их изготовления, средств производства, являющихся основой технологического прогресса и технического перевооружения звеньев ПЛС;

– экономические – в области управления затратами на осуществление производства и логистической деятельности, планирования, нормирования и оценки результатов деятельности ПЛС;

– социальные – в форме трансформации человеческого фактора, изменения роли и функционала человека в ПЛС;

– экологические – нововведения, улучшающие или предотвращающие негативные воздействия на окружающую среду.

Драйверами ценности цифровой трансформации выступают составляющие, показанные на рис. 2.4.

ЦТ ПЛС осуществляется в следующих условиях:

– увеличение скорости, масштабов изменения и стоимости технологий, что приводит к автоматизации, роботизации и интеллектуализации труда;

– накопление данных одновременно с существенным снижением стоимости вычислений и хранения информации, увеличением производительности вычислений, что позволяет реализовывать «управляемый данными» (data-driven) и «базирующийся на моделях» (model-based) подход к проектированию ПЛС и управлению всеми технологическими объектами и процессами;

– перенос данных в цифровые облака, подключение технологических объектов и человека к Интернету всего, что позволяет иметь доступ к данным в режиме 24/7 и управлять процессами из удаленных точек;

– развитие искусственного интеллекта для использования предсказательных систем управления и обслуживания продуктов, расширенное управление жизненным циклом продукта (PLM);

– уход от потребления продукта к потреблению сервисов (модель «as a Service»), что требует налаживания устойчивых связей с клиентами по цепи поставок;



Рис. 2.4. Драйверы ценности Индустрии 4.0

Источник: [81], перевод и адаптация автора.

– изменение характера конкуренции, развитие сетевых отношений, что приводит к необходимости формирования экосистем через цифровые платформы, либо присоединение к ним для выживания на рынке.

Цифровая трансформация (ЦТ) какой-либо системы это постоянная ее перестройка в цифровую систему. В ней бизнес-модели, жизненные циклы и бизнес-процессы построены на первичности цифрового представления основных продуктов и услуг. Ее элементы имеют цифровое представление – формальное, явное, машиночитаемое и машинно-исполняемое описание, которое позволяет компьютеру понять объект, и связаны цифровым образом. Цифровой объект – совокупность информации в цифровой форме о физическом или виртуальном объекте, процессе, субъекте, физическом лице.

Это многоуровневая матрица целевых показателей и ресурсных ограничений объекта реального. Она выполняет роль цифрового двойника (digital twin) и с высокой степенью адекватна реальному физическому объекту [90–92]. Создание цифрового двойника происходит на всех этапах жизненного цикла по всей цепочки добавленной стоимости. Совокупность таких моделей образует цифровые активы – комплекс цифровых продуктов и инфраструктур, процесс использования и изменения которых приводит к формированию добавленной стоимости и новой ценности, в том числе выраженной в денежной форме. Взаимодействие между цифровым двойником и физическим миром происходит посредством технологий Интернета вещей.

Под цифровой трансформацией понимаем комплексное преобразование объекта, связанное с переходом к новым бизнес-моделям, каналам коммуникаций с клиентами и поставщиками, продуктам, производственным и бизнес-процессам, корпоративной культуре, которые базируются на принципиально новых подходах к управлению данными с использованием цифровых технологий, в целях существенного повышения его эффективности и долгосрочной устойчивости.

Цифровая трансформация ПЛС связывается нами с построением ПЛС Умного производства (Smart Manufacturing System) как социкиберфизической системы. Такая система призвана включить в себя инструменты предыдущих поколений ПС и стать передовой системой производства (рис. 2.5).

Цифровая трансформация смещает фокус инновационного развития ПЛС [93]:

- с максимизации краткосрочной прибыли на обеспечение стратегических преимуществ и долгосрочной прибыли за счет инвестиций в цифровую трансформацию;
- стратегии массового аутсорсинга на инвестирование в собственный человеческий капитал, в привлечение талантливых инженеров и модернизацию оборудования;
- глобализации на перенос высокотехнологичного производства и центров компетенции в национальные границы, на поддержку местных сообществ;
- стратегии индивидуализации на выстраивание партнерской сети поставщиков;
- ценовой конкуренции на конкуренцию качества услуг на базе кастомизированных решений для клиентов.

Цифровая трансформация в Республике Беларусь осуществляется в условиях слабой степени осведомленности и освоения цифровых технологий в промышленности.

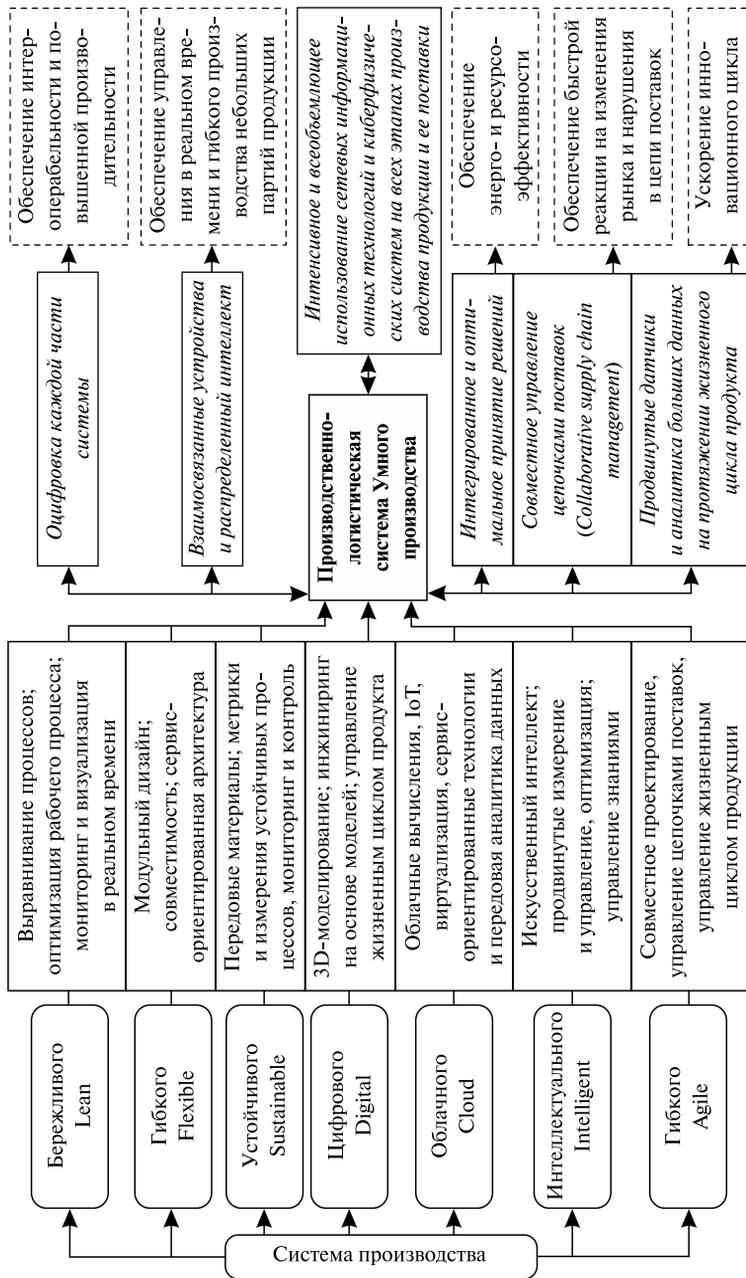


Рис. 2.5. Инструментарий производственно-логистической системы Умного производства и ее связь с предыдущими поколениями производственных систем

Источник: [89].

Изучив данные выборочного опроса руководителей 424 субъектов [94], мы можем говорить, что освоение сложных и комплексных ИТ-решений белорусскими малыми и средними предприятиями не масштабно. Так, ERP-системы использует 27,9 % предприятий, CRM-системы – 15 %, BPM-системы – 1 %, ПО для управления проектами – 3 %. Наиболее популярны у компаний готовые ИТ-решения, их использует 75 %, а главными факторами при выборе ИТ-решения были выделены простота использования (68,4 % опрошенных компаний), функциональность (55,4 %), надежность (50,2 %). Осознание проблем безопасности и интеграции с существующими системами демонстрируют до трети респондентов.

Опрос показал, что респонденты считают наиболее перспективными для промышленности не комплексные и специализированные ПО, а системы электронного документооборота и системы для автоматизации бухгалтерского и кадрового учета. Хотя производственные компании отметили наивысший приоритет в автоматизации производства (52,4 %), склада (37,4 %), маркетинга (34,7 %), но использование решений на стыке hardware and software (робототехника, 3D-печать, дополненная и виртуальная реальность) считают перспективными около 4 % предприятий промышленности. Технология Интернета вещей вообще не считается перспективной респондентами, что свидетельствует об отсутствии знаний о сути технологии и понимания ее значимости для создания производства как киберфизических систем. Кроме того, промышленность не получает должную поддержку от отечественного ИТ-сектора, который преимущественно занят аутсорсингом. Следует также согласиться с мнением профессора В. Ф. Байнева, что основной задачей отечественного ИКТ-сектора является отнюдь не получение скромных (по мировым меркам) доходов от написания программ для импортных гаджетов, а оказание помощи реальному, прежде всего промышленному сектору экономики в переходе на массовое использование современного оборудования с ЧПУ [95].

На базе [96–98] и других источников нами выделены следующие факторы, препятствующие цифровой трансформации ПЛС:

– нехватка кадров при низкой цифровой грамотности персонала; ресурсные ограничения (отсутствие достаточного бюджета, нехватка опыта внедрения цифровых технологий, сложности в интеграции новых и существующих технологий/данных);

– слабая поддержка трансформационных проектов руководством при нейтральном или негативном отношении к изменениям со стороны персонала; страх наказания за ошибки и отсутствие общей культуры «дешевых» проб и ошибок (подход fail-fast test-and-learn);

– отсутствие объективных оценок эффективности цифровой трансформации, сокрытие фактов недоработок решений поставщиком ИТ-продуктов; угроза увеличения образованной безработицы, роста конкуренции среди интеллектуалов, устранение профессий с монотонным умственным трудом;

– рост уязвимости производства, связанных с массовым внедрением интеллектуальных датчиков в оборудование и технологии промышленного Интернета вещей;

– проблема доверительности (trustworthiness) к данным из-за их ненадежности и зашумленности, конфликтов между надежными и неисправными сенсорами, ограниченности охвата объекта, огромного массива данных;

– рост мошенничества в киберпространстве, снижение качества и ответственности принимаемых решений, рост социального отчуждения;

– кибербезопасность (кибертерроризм, кибершпионаж, кибервойны и киберпреступность).

Индустрия 4.0 стимулирует переход от массового производства стандартизированной продукции к гибкому производству, выпускающему индивидуализированную продукцию. При этом базой для осуществления производства становятся автоматизация, роботизация и интеллектуализация труда. Трансформация ПЛС возникает вследствие перехода:

– на безлюдное производство и массовое внедрение роботизированных технологий;

– обязательную оцифрованную техническую документацию и электронный документооборот на распределенных ресурсах («безбумажные» «облачные» технологии);

– цифровое проектирование и моделирование технологических процессов, объектов, изделий на всем жизненном цикле;

– применение «аддитивных» технологий, 3D-печати, мобильных технологий для мониторинга, контроля и управления процессами;

– внедрения технологии промышленного Интернета вещей (массовое внедрение интеллектуальных датчиков в оборудование и транспортные средства).

Целью новой парадигмы бизнеса становится создание полностью автоматизированного цифрового производства.

Глава 3

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО- ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

3.1. Концепция цифровой трансформации производственно-логистических систем

3.1.1. Элементы концепции

Концепция как руководящая идея определяет теоретико-методические подходы к цифровой трансформации производственно-логистических систем. Радикальное перепроектирование системы, ее звеньев, подсистемы, элементов и связей между ними, внедрение в нее цифровых технологий и инструментов вследствие изменения бизнес-модели, разработка и выбор наиболее эффективных решений по системе критериев достижения целей развития предполагается системную работу менеджеров по установленной схеме действий.

Элементы концепции цифровой трансформации ПЛС отражены на рис. 3.1.

Рассмотрим системообразующие элементы концепции.

3.1.2. Субъекты и объекты цифровой трансформации

Субъектами трансформации ПЛС выступают проектные команды во главе с руководителем по цифровой трансформации (Chief Digital Transformation Officer, CDTO), с привлечением главных специалистов, которые осуществляют управление процессами трансформации по направлениям: производство, качество, технология, маркетинг, работа с персоналом, финансы.



Рис. 3.1. Элементы концепции цифровой трансформации производственно-логистической системы

Источник: [99].

Объектами трансформации выступают все элементы ПЛС. Состав трансформируемых элементов системы детализирован на рис. 3.2. Исходя из концептуальной типологии ПЛС (табл. 3.1), определены трансформируемые элементы системы.

Трансформация ПЛС обеспечивается совокупностью действий, вызывающих целенаправленное закономерное изменение свойств (формы), связей (структуры) и внутренней упорядоченности (организации) ПЛС на базе выбора и построения того варианта ее архитектуры, который обеспечит наименьший разрыв между желаемым и реальным уровнем характеристик. Во время трансформации происходит освоение нововведений, повышающих степень, в которой ПЛС определена, управляема, измерима, контролируема и результативна, т. е. достигается требуемый уровень эффективности преобразования входящих потоков в конечный результат.

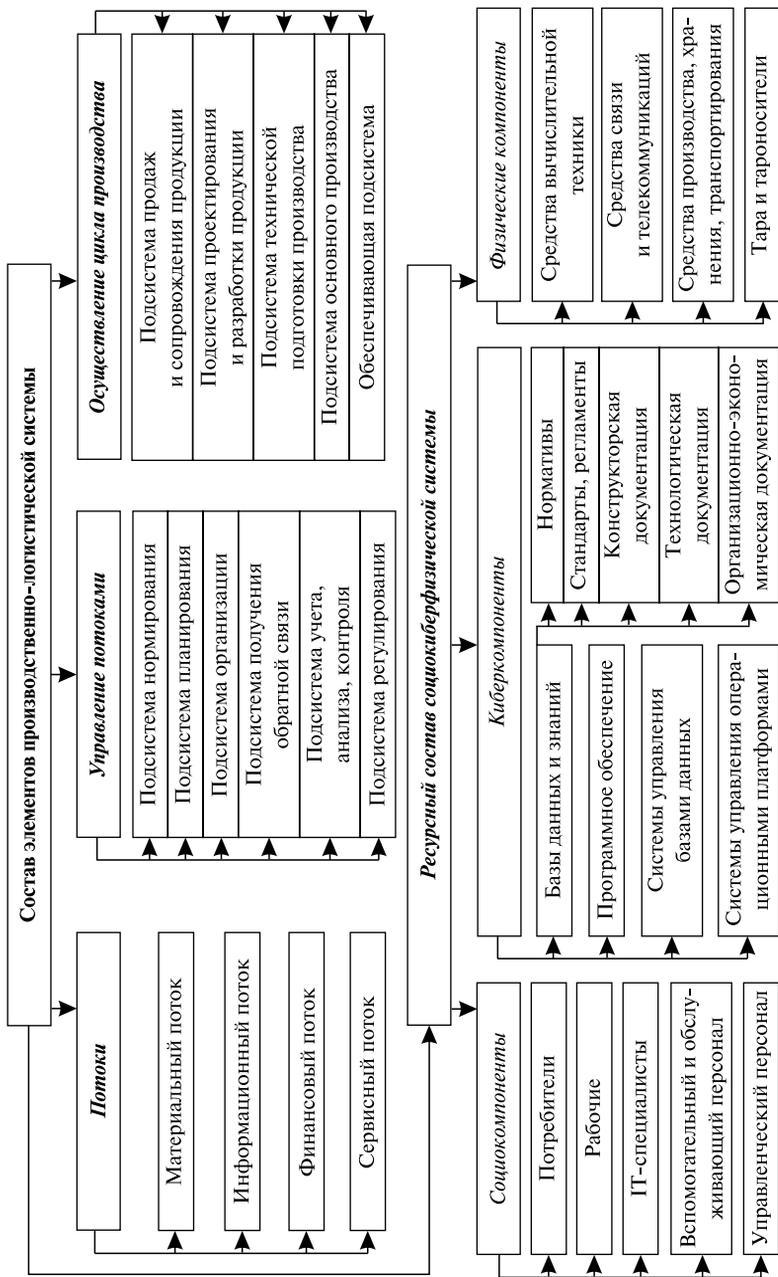


Рис. 3.2. Состав элементов производственно-логистической системы

Источники: разработано автором.

Концептуальная типология ПЛС как система взаимосвязанных экономических понятий

Подход к определению ПЛС	Параметр				Тенденции трансформации
	Понятие	Содержание	Состав		
Потоковый аспект	ПЛС – совокупность потоков, проходящих через систему	Материальные, информационные, сервисные, финансовые потоки, проходящие через систему	Элементы, формирующие потоки	Товар → комплекс «товар + услуга» → контракт жизненного цикла (комплекс «товар + сопровождение») → «все как услуга» (Everything-as-a-Service, XaaS)	
Социокриber-физический аспект	ПЛС – совокупность производственных ресурсов (факторов производства), объединенных в определенной комбинации, для создания материальных благ	Ресурсный состав системы, включая персонал, средства труда, информационно-коммуникационную систему	Персонал, средства и орудия труда, средства измерения и контроля, транспортные, передаточные, транспортно-подъемные устройства, стеллажи, тара, тароносители программного обеспечения, данные, системы управления базами данных и операционными платформами, информационные технологии, средства вычислительной техники и телекоммуникаций, инженерное оборудование связи	Физические системы → киберфизические системы → социокриberфизические системы. Локальная станция → корпоративная сеть → распределенная сеть → единое информационное пространство	

Управленческий аспект	ПЛС — система управления потоками ресурсов в целях придания им количественных параметров и качественных характеристик в соответствии с требованиями внешней среды	Подсистемы управления потоками (нормирования, планирования, организации, получения обратной связи, учета, анализа, контроля, регулирования)	Системы управления классов ERP, BI, APS, MES, MRP II, CSRP, CAD/CAE/CAM, PLM, SALS. Стандарты, регламенты, нормы, организационно-экономические, структурные, технологические документы	Традиционное производство → виртуальное производство → сетевое производство
Процессный аспект	ПЛС — совокупность процессов преобразования потоков ресурсов в потоки благ и услуг	Подсистема осуществления цикла производства, включая технологию производства и логистики	Процессы преобразования, манипуляции, проверки, процессы планировать, доставлять, снабжать, возвращать и предоставлять SCOR-модели цепей поставок	Традиционные технологии → технологии V и VI уклада. Роботизация, виртуализация
Система как механизм развития	ПЛС — система создания и поиска, отбора и внедрения лучших практик, формирования базы знаний для непрерывного совершенствования процессов производства	Системы производства как совокупность инструментария развития	Философии развития, концепции, методы, процедуры, инструменты, практики	Системы производства: бережливого → гибкого (Flexible) → устойчивого → цифрового → облачного → интеллектуального → Agile (гибкого) → умного (Smart)

Источники: разработано автором.

3.1.3. Принципы проведения цифровой трансформации

Принципы проведения цифровой трансформации ПЛС отражены на рис. 3.3.

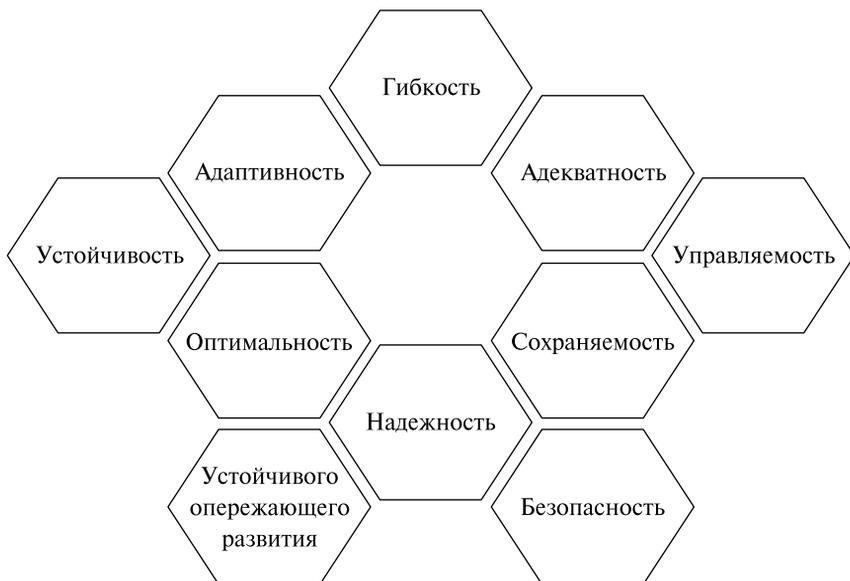


Рис. 3.3. Принципы цифровой трансформации производственно-логистических систем

Источник: [100].

Принципы достаточно известны, однако их практическое достижение в условиях построения цифровой экономики претерпевает изменение.

1. *Адаптивность достигается через соответствие параметров ПЛС требованиям рынка к продукту.*

Выявление требований рынка к производимому продукту лежат в основе формулирования системных характеристик ПЛС. Свойства и параметры продукта, который генерируется и продвигается в системе, традиционно выявляются в ходе исследований рынка. Однако современные цифровые технологии обработки больших массивов неструктурированных данных цифрового следа позволяют выполнить предиктивное выявление требований потребителей. Целевые и ресурсные параметры продукта «приспосабливаются» к будущим параметрам спроса. А цели и ограничения для элементов ПЛС в свою очередь подбираются под запрос параметров продукта.

2. Оптимальность достигается через рациональную комбинацию потоков и элементов натурально-вещественного состава ПЛС.

Комбинация объемов ресурсов различной природы (материальные, информационные, интеллектуальные, человеческие) должна быть рациональной и эффективной, что оценивается по многофакторной системе, где цена приобретения уступает свои позиции стоимости владения.

Роль людей как трудовых ресурсов и их значимость в производстве существенно снизится вплоть до исключения, однако их роль как потребителей, задающих персонализированные требования к характеристикам результата работы, возрастет. Этот факт позволит нам рассматривать ПЛС как социоклиберфизическую систему, выделяя людей как ее неотъемлемый элемент.

Интегрированные коммуникации на стыке цифрового и физического пространства (phygital как комбинация physical + digital) позволят персоналу работать с данными удаленно при помощи мобильных информационных технологий за счет беспроводной сети промышленного Интернета вещей. Человеко-машинные интерфейсы обеспечат носимые устройства, графические интерфейсы нового типа. Киберфизическое преобразование ПЛС обеспечат аддитивные технологии, радиочастотная идентификация, сенсоры, чипы, компьютерное зрение, продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие, промышленный Интернет вещей.

3. Гибкость достигается через подбор участников системы для генерации и продвижения кастомизированного продукта.

Взамен традиционной цепочки создания стоимости приходит горизонтальная пассивная кооперация участников ПЛС, что вызвано необходимостью гибкого перестроения производства на выпуск единичных заказов кастомизированных продуктов. Бизнес-модель, где цепь становится «плоской», ее функции — переключаемыми и взаимозаменяемыми, а она сама динамично меняется, выходит на передний план. Под конкретные нужды клиента подбираются исполнители работ, а связи становятся временными. Структура ПЛС постоянно меняется. При ее формировании состав звеньев ПЛС следует подбирать с использованием метода комбинаторики, при этом должна обеспечиваться глобальная оптимизация всей системы, а не отдельных ее звеньев, подсистем, элементов.

4. Устойчивость достигается через оптимальную локализацию звеньев системы.

Тенденция локализация производства возникла в противовес глобализации вследствие кризисных явлений из-за пандемии коронавируса. Нарушение международных связей, закрытие на карантин предприятий Китая, имеющего порядка 16 % в мировом ВВП, вызвало разрыв цепей поставок:

проявилась уязвимость при концентрации производства в одних регионах при минимальных запасах товарных и сырьевых ресурсов в других. Это привело к рассмотрению стратегий диверсификации цепей поставок в пользу местных производителей, сокращения протяженности цепи за счет посреднических структур и возврата производств из Азии в США и Европу.

Концентрация значимой совокупности операций на автоматических рабочих центрах, в роботизированных человеко-независимых системах приводит к формированию гиперсвязанных производств, управляемых из любой точки мира, а расположение оборудования на мобильных платформах позволяет перемещать производства в нужную локацию. Также возможно реализовать идею бимодальных цепочек поставок. В них осуществляется переход с традиционного режима с фокусом на бережливую эффективность, низкие риски, высокую предсказуемость на «второй режим», где обеспечивается потребность в гибкости, скорости и перестройке на новые возможности.

5. Надежность достигается через модельно-ориентированное проектирование системы.

Состав системы неоднороден по функциональному назначению ее звеньев, содержанию и взаимосвязям разнородных объектов различной природы – физических, социальных, информационных. Описание системы, ее проектирование, создание и функционирование связывается нами с пришедшей на смену классического математического моделирования экономических систем технологией цифровых двойников (Digital Twin, DT). Цифровой двойник выступает программным аналогом материального объекта и позволяет осуществлять их виртуальное моделирование и оптимизацию. Цифровое моделирование приводит к унификации узлов, оперировать унифицированными типовыми категориями становится легче, скорость «подборки» участника в ПЛС резко возрастает.

6. Адекватность через управление поведением системы, основанное на данных.

Данные рассматриваются как стратегический актив ПЛС. На базе больших данных (Big Data), искусственного интеллекта и Интернета вещей формируется новая парадигма управления ПЛС. Роль различных предсказательных моделей и их объединение в прогноз будущего выходит на первый план. Как правило, данные образуют большие массивы, которые должны быть приведены к общему формату, очищены от лишнего, содержаться в единой системе хранилища данных с технологиями «озеро данных» (data lake) и «склад данных» (data warehouse). Обеспечение машинного сбора доступных данных, их унификации и определения зависимостей, закономерностей, выявления потенциальных узких

мест, сопоставления и анализа данных, их визуализации, прогнозирования и планирования на их основе становится главным приоритетом системного инжиниринга.

7. Сохраняемость достигается через проактивное развитие системы ПЛС на протяжении ее жизненного цикла наиболее эффективными методами, приемами, инструментами.

Проактивное управление предполагает создание в системе управления принципиально новых упреждающих возможностей на основе системного моделирования, что позволяет предотвращать возникновение сбоев в системе, применять предупредительные меры для снижения количества проблем и оперативно их решать в случае возникновения.

Задача выявления первопричины и источника сбоев – несоответствий параметров ПЛС требованиям рынка – приводит нас к необходимости включения в механизм адаптации к внешней среде не только инициативной обратной связи, но и анализа клиентского пути (customer journey), его цифрового следа, скрытых потребностей, степени удовлетворенности. Выбор инструментария развития ПЛС должен соответствовать этапу ее жизненного цикла, степени зрелости ее процессов, что в целом сводится к комбинации локальных усовершенствований либо к реинжинирингу. Гибкое внесение изменений в разрабатываемый продукт за счет итерационного подхода к разработке применим для проектирования платформенных решений логистического сервиса. Считаем, что Agile-подход к проектированию может быть реализован и для ПЛС.

8. Управляемость достигается через формирование экосистем.

Экосистема – это среда, внутри которой множество организаций решают общую задачу. Так, например, экосистема цифровых транспортных коридоров – это открытая, цифровая среда обмена логистической информацией, возникающей в ходе связей и отношений участников и иных причастных к перевозочному процессу субъектов, логистической инфраструктуры, государственных органов управления, осуществляемых в цифровой форме на цифровых платформах и в информационных системах, объединенных на открытой площадке в единой информационной среде. Их деятельность переплетена и успешность взаимобусловлена. В экосистеме ценности создаются благодаря объединению вклада множества участников и интеграции структурированных данных из множества источников. За счет эффекта масштаба экосистема становится экономически эффективной. И если не строить свою экосистему, то технологические спутники, малый и средний бизнес и стартапы будут притягиваться к другой экосистеме, где правила ясны и понятны, а получение заказов проще, чем на свободном конкурентном рынке.

9. Принцип устойчивого опережающего развития достигается через резервирование точек роста и контроль за ключевыми технологиями в экосистеме.

Формирование набора множества следующих поколений продукта и создание отраслевых стандартов становится точками устойчивого опережающего развития ПЛС. Экосистема формирует стандарты и протоколы коммуникаций, придерживаться которых должны ее участники, что выстраивает неценовые барьеры на рынке и служит определенным элементом защиты интеллектуальной собственности. Барьером входа на рынок вместо ценовых предложений становятся стандарты, которые формирует бенифициар экосистемы. Патент не гарантирует защиту, он фиксирует изобретения, но открывает принцип новшества, запускающий механизм копирования конкурентами. Защитой становится уход в технологии, ноу-хау, стандарты, контракты жизненного цикла. При этом именно стандарт становится барьером, фиксацией отрыва от конкурентов, инструментом политики управляемого контролируемого отставания. Увидев новый стандарт, мы выстраиваем действия, направленные на его достижение. Но как только стандарт достигнут, конкурент вводит новый, заготовленный заранее, и гонка начинается вновь. Задачей становится разведка замыслов, возможности предвидеть и моделировать рынок, не копировать, не догонять, а целью — иметь в запасе продукты новых поколений, «зарезервированные» для будущего.

10. Безопасность достигается через комплекс мер по решению проблем кибербезопасности, экологии и социальной напряженности.

Кибербезопасность становится главной угрозой надежности ПЛС в силу того, что в новых условиях все сделки происходят в цифровом пространстве в бизнес-приложениях, т. е. информационная подсистема сама становится реальностью. Экологические аспекты решаются через выстраивание ПЛС замкнутых цепей поставок, где потоки материалов, энергии и отходов циркулируют в системе за счет повторного потребления продукта, использования компонентов и рециркуляции материалов. Социальную напряженность формируют множество угроз: проблема неприятия цифровых инноваций, восприятие их как угрозы; рост образованной безработицы, устранение ряда профессий, повышение требований к компетенциям работников.

Кроме указанных выше отметим и традиционные принципы, положенные в основу развития ПЛС: процессный подход; системный подход; принципы альтернативности и оптимальности; принципы проектного анализа, принятие решений, основанное на фактах; постоянное улучшение; ориентация на клиента; лидерство руководства; вовлечение персона-

ла; введение гибких организационных структур; интегрирование бизнес-процессов; горизонтальное сжатие бизнес-процессов; децентрализация ответственности (вертикальное сжатие бизнес-процессов) при сохранении положительных моментов централизации управления; логика реализации бизнес-процессов; диверсификация бизнес-процессов; рационализация горизонтальных связей; рационализация управленческого воздействия; ответственный менеджмент; ориентация на результат.

3.1.4. Цель, задачи и результаты цифровой трансформации

Цель трансформации ПЛС заключается в придании ей способности создавать добавленную стоимость длительный период за счет решения задач обеспечения ее устойчивости, адаптивности, гибкости и эффективности на более высоком уровне, чем до проводимых мероприятий (рис. 3.4).

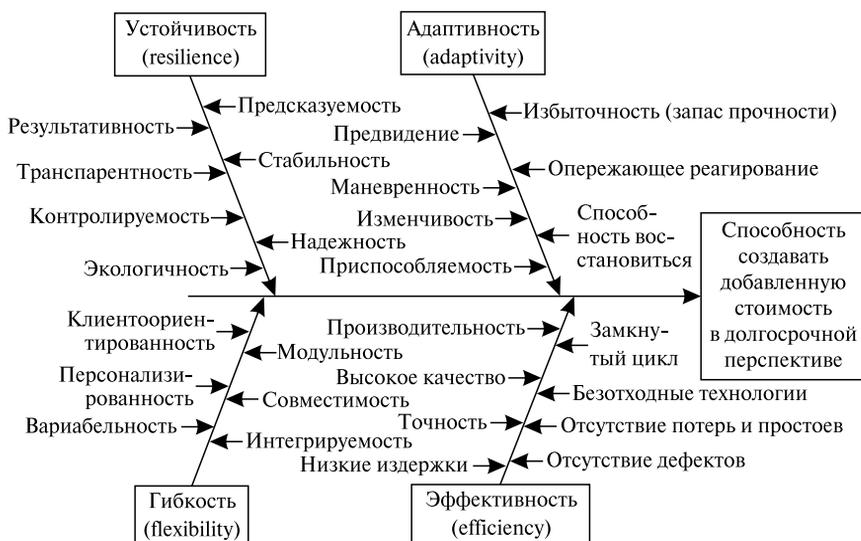


Рис. 3.4. Целевые характеристики системы и их определяющие факторы
Источник: [38].

Повысить устойчивость системы можно, влияя на один из факторов, определяющий эту целевую характеристику. Следует отметить, что инструменты цифровой трансформации одновременно воздействуют на все целевые характеристики, причем разнонаправленно. Например, создание

и обработка больших данных о функционировании ПЛС повысят прозрачность и контролируемость системы, обеспечат опережающее реагирование, но явно негативно скажутся на уровне издержек. Варибельность и модульный подход к созданию системы, с одной стороны, повысят ее гибкость, но с другой – негативно отразятся на предсказуемости и стабильности.

Задачи трансформации ПЛС связаны с преобразованием элементов ПЛС и процессов SCOR-модели цепи поставок: планировать (Plan), делать (Make), снабжать (Source), доставлять (Deliver), возвращать (Return) и предоставлять (Enable). Система должна обладать внутренней упорядоченностью (количественный и качественный состав основных элементов и их взаимосвязи) и организацией (их внутренняя упорядоченность и согласованность во времени, обеспечивающая функционирование системы как единого целого), а критерием оценки функционирования системы является сопоставление ее входа и выхода.

Трансформация ПЛС обеспечивается совокупностью действий, вызывающих целенаправленное закономерное изменение свойств (формы), связей (структуры) и внутренней упорядоченности (организации) ПЛС на базе выбора и построения того варианта ее архитектуры, который обеспечит наименьший разрыв между желаемым и реальным уровнем характеристик.

В ходе трансформации происходит освоение нововведений, повышающих степень, в которой ПЛС определена, управляема, измерима, контролируема и результативна, т. е. достигается требуемый уровень эффективности преобразования входящих потоков в конечный результат. Формирование наиболее эффективных ее звеньев и связей между ними позволяет обрести конкурентные преимущества, повысить класс конкурентоспособности и обеспечить выживаемость системы.

Результатами трансформации ПЛС является:

- создание системы распределенных звеньев интегрированного бизнес-процесса в логистической системе на базе стека возможных участников и наращивание пассивных операционных цепочек под требования клиентов;

- функционирование единого информационного пространства на протяжении всего жизненного цикла продукции и единого центра управления в цепях поставок через цифровые платформы;

- обеспечение клиентоориентированности и гибкости системы путем диверсификации товаров и услуг за счет гибкой разработки, оптимального подбора звеньев в динамичную сеть поставок;

– обеспечение омниканальности в системе за счет проактивной коммуникационной политики и обеспечение «бесшовных» интегрированных закупок, производства, торговли и поставки через все доступные каналы;

– преобразование логистических систем дистрибуции для работы по бизнес-моделям экономики замкнутого цикла через механизмы индивидуализации производства, предоставления продукции во временное пользование, совместного потребления, возврата и переработки.

Оценка результатов трансформации ПЛС должна вестись по многокритериальной модели, охватывающей показатели (метрики) функционирования цепи поставок (ЦП) в соответствии с SCOR моделью версии 12.0:

– надежность (Reliability) функционирования ЦП: обеспечение доставки нужного продукта, в нужное время и место, в надлежащем состоянии и упаковке, нужного количества, с правильной документацией, нужному потребителю;

– оперативное реагирование (Responsiveness) – отклик цепи поставок на изменение спроса, оценивается через длительность логистических циклов, т. е. скорость прохождение товара по цепи поставки к потребителю;

– маневренность (гибкость, динамичность) цепи поставок (Agility) – темп, с которым цепь поставок реагирует на изменения ситуации на рынке в целях получения или сохранения конкурентных преимуществ;

– затраты цепи поставок (Cost) – издержки, связанные с операциями;

– эффективность управления активами в цепи поставок (Asset Management Efficiency) – эффективность управления активами в обеспечении удовлетворения спроса.

3.1.5. Функции управления цифровой трансформаций

Функциями управления трансформацией ПЛС являются: проектирование, организация, осуществление изменений, освоение новых технологий в промышленных масштабах и оценка достигнутых значений целевых показателей.

Выполнение функций в ходе трансформации ПЛС включает в себя:

– внедрение моделей менеджмента, адекватных моделям цифровой экономики, обеспечение гибкости, мобильности, ориентации на клиента в условиях высокого риска и усиления нестабильности внешней среды;

– создание сбалансированной, сопряженной по качеству процессов системы;

– обеспечение качества, скорости и эффективности преобразования ресурсных потоков в товары и услуги должного качества и количества;

– формирование условий для продолжения и улучшения процесса ее функционирования и обеспечения инновационного развития предприятия;

– эффективное использование ограниченных финансовых ресурсов на создание и поддержание функционирования системы с высокой степенью использования организационно-технического и интеллектуального потенциала;

– обеспечение ПЛС следующими конкурентными преимуществами: требуемые в цифровой экономике трудовые ресурсы, интеллектуальный, производственный и финансовый капитал и рыночная информация; качество, скорость и эффективность преобразования входящих ресурсных потоков в товары и услуги должного качества и количества; сравнительно низкие издержки функционирования системы и высокое качество услуг и продукции; «гибкость» предприятия в условиях неопределенности и риска; синергетический эффект структурного характера.

Обеспечение конкурентных преимуществ за счет синергетического взаимодействия разных организационно-технологических мероприятий (каждое из них использует фактор, который недостаточно востребован другой сопрягаемой технологией) основано на системных решениях. При этом ранее разработанные методы достижения высокой эффективности дополняются и обогащаются использованием современных организационных технологий. Конкурентоспособность предприятия раскрывается как тактические и стратегические преимущества конструкторско-технологических и организационно-управленческих решений. В части технико-экономических условий производства они связаны с высокой степенью использования организационно-технического и интеллектуального потенциала, заложенного на этапе проектирования.

3.1.6. Методы и инструменты цифровой трансформации

В основе выбора методов и инструментов трансформации ПЛС должно лежать четкое понимание, каких результатов мы желаем достичь.

Методами трансформации являются сохранение свойств объекта, их улучшение путем его модернизации, изменение в целях сбалансирования системы, устранение объекта в силу несоответствия его задачам системы.

Каждый из элементов и процессов ПЛС может быть изменен с помощью технологических инноваций. Такими инновациями могут выступать: интегрированное планирование и выполнение; прозрачность логистики; закупки 4.0; Умное складирование; эффективное управление запасными частями; автономная логистика и логистика В2С; предписы-

вающая аналитика цепочки поставок и интеллектуальные средства поддержки цепочки поставок.

Сфера производства и логистики, управления цепями поставок достаточно восприимчива к инновациям. В производстве и распределении товаров, транспортировке, управлении запасами все больше находят применение 3D Printing, IoT, дроны и управления запасами на основе IoT, облачные сервисы.

Перспективы применения технологии Big Data, Blockchain, e-SCM, искусственный интеллект, дополненная реальность, аналитика данных, персонализации обслуживания с использованием смешанной реальности (mixed reality) в связи удешевлением и развитием технологий становятся все более реальными [101–103].

Цифровые технологии трансформируют, где и какие продукты спроектированы, изготовлены, собраны, распределены, потребляются, обслуживаются после покупки и повторно используются. Все большее применение в распределении товаров, транспортировке, управлении запасами находят такие цифровые технологии, как искусственный интеллект, дополненная и смешанная реальность, аналитика больших данных (Big Data), Интернет вещей, Blockchain, облачные сервисы, аддитивные технологии. Для ритейлеров и магазинов цифровой бизнес ведется в двух направлениях: персонализация обслуживания и управление запасами на основе IoT. Кастомизация продуктов для каждого запроса клиента базируется на использовании смешанной реальности (mixed reality), позволяющей клиентам при помощи устройств манипулировать с виртуальным объектом, 3D-сканом реального объекта, либо приносить голографическое изображение другого человека в свой виртуальный мир [104].

Средства трансформации в разрезе элементов системы отражены на рис. 3.5, *технологии и инструменты цифровой трансформации*, сгруппированные по четырем основным направлениям, — на рис. 3.6.

Комплексное использование инструментов и технологий цифровой трансформации ПЛС позволяет обеспечить реализацию следующих теоретико-методологических подходов.

1. *Demand-driven/market-driven* подход — изменения, управляемые спросом/рынком, — изменения на базе выявленных требований рынка к создаваемому и продвигаемому в ПЛС продукту. Предиктивное выявление и фиксация требований потребителей и на этой основе формулировка показателей продукта и технического и логистического сервиса становится источником системы целей и ограничений для структурных элементов ПЛС. Выстраивание системы адекватной рынку по функционалу и составу связывается нами с вовлечением потребителя продукта в процессы его проектирования, модификации.



Рис. 3.5. Средства цифровой трансформации производственно-логистической системы

Источник: [99].



Рис. 3.6. Состав инструментов и технологий цифровой трансформации производственно-логистической системы

Источник: [105].

Реализация подхода требует создания действенного механизма обратной связи с пользователями продукта, обучение клиентов и их вовлечения в поиск инноваций, модернизацию, а также механизма кооперации бизнеса с научным сообществом, межотраслевой коллаборации для моделирования различных сочетаний отраслевых решений в целях создания инновационного ценностного предложения для свободной рыночной ниши.

2. *Model-Based Design подход* – модельно-ориентированное проектирование системы.

Технология цифровых двойников (Digital Twin, DT) применима для формирования ПЛС как совокупности сложных, комплексных разнородных объектов различной природы – физических, социальных, информационных. В ПЛС необходимо комплексно использовать цифровые двойники продукции, которые представляют собой многоуровневую матрицу целевых показателей и ресурсных ограничений (ресурсные, технологические, экономические, экологические). Совокупность информации о потоках, звеньях, элементах системы образует в цифровой форме многоуровневую матрицу и включает целевые показатели и ресурсные ограничения (ресурсные, технологические, экономические, экологические). Цифровой двойник (Digital Twin) как программный аналог физического устройства продукции / производства позволяет осуществлять его виртуальное моделирование и оптимизацию. Объединение цифрового двойника объекта / продукта и цифрового двойника производства в рамках единой цифровой модели на основе выполнения десятков тысяч виртуальных испытаний в процессе цифровой сертификации ведет к формированию «умного» цифрового двойника первого уровня [90]. Уровень адекватности цифрового двойника повышает «умная» цифровая тень объекта, создаваемая за счет оперативной информации о функционировании конкретного объекта / продукта при помощи промышленного Интернета вещей и диагностики (Health Monitoring System, HMS) [91].

Создание цифровых двойников (DT) происходит на всех этапах жизненного цикла исследуемого объекта по всей цепочке добавленной стоимости. DT как программный аналог физического устройства, продукции или производства позволяет осуществлять их виртуальное моделирование и оптимизацию. Система описывается как динамическая модель, которая должна быть верифицирована и настроена по данным испытаний. Отказ от парадигмы последовательного проектирования ПЛС в пользу цифрового моделирования на основе комбинаторики свойств и параметров DT позволяет осуществлять сценарное моделирование на неявных множествах.

Элементы изделия, оцифрованные по единым стандартам платформы и представленные в виде 3D-моделей, становятся пулом «заказов»,

размещенных на цифровой платформе. Унифицированные типовые изделия, элементы и узлов, доведенные до потенциальных участников ПЛС в виде данных, четко структурированных и легко интегрируемых в ИТ-систему производителей, не только позволяют повысить скорость «подборки» участника в ПЛС, но и ускорить сам процесс освоения нового изделия на предприятиях-производителях.

В свою очередь на базе цифровых двойников продукции необходимо выстроить цифровой двойник производства, что позволит подбирать потенциальных участников ПЛС под требования ограничений. Цифровой двойник производства описывает комбинации объемов ресурсов различной природы (материальные, информационные, интеллектуальные, человеческие), необходимые для создания продукции. Достижение эффективной комбинации следует оценивать по многофакторной системе оценки, где цена приобретения уступает свои позиции стоимости владения. Особое внимание при моделировании следует уделить выстраиванию замкнутых цепей поставок.

Создание цифровой модели позволяет отказаться от парадигмы последовательного проектирования системы, осуществлять модельные испытания, виртуальные эксперименты, сценарное моделирование на основе комбинаторики свойств и параметров цифровых двойников, что повысит эффективность дальнейшего функционирования ПЛС.

3. *Customer-centric подход* – клиентоцентричный подход. Подбор состава участников ПЛС выполняется исходя из персонализированных требований потребителя к продукту. Производство кастомизированных продуктов, быстрый и гибкий переход производства на выпуск новых видов и моделей становится базовым конкурентным преимуществом, что заставляет менеджмент искать замену традиционной вертикальной цепочки создания стоимости.

Пассивная горизонтальная «плоская» сеть и дезинтермедияция – удаления посредников из цепочки или их отсечение в серии транзакций – становится альтернативой цепи поставок в ее традиционной форме разделенных в последовательном процессе, организованных по критическому пути функций.

Участники ПЛС вступают в кооперацию, создавая цепочки «под запрос», так как являются носителями переключаемых и взаимозаменяемых функций, востребованность которых определяется запросом клиента. Организовать сеть из стека возможных участников и наращивание пассивных операционных цепочек под требования клиентов позволит работа через цифровые платформы. Вокруг каждой цифровой платформы зарождается соответствующая экосистема цифрового предприятия. За счет масштаба экосистема становится экономически эффективной.

Экосистема формирует стандарты и протоколы коммуникаций, придерживаясь которых должны ее участники. Это выстраивает неценовые барьеры входа на рынок вместо ценовых предложений, становится инструментом политики управляемого контролируемого отставания.

4. *Data-driven подход* – подход к созданию и управлению системой на основе данных (датацентричный). В цифровой экономике данные выступают как «новая нефть». Наличие данных позволяет выполнять моделирование и прогнозирование поведения системы. Они образуют большие массивы, которые должны быть приведены к общему формату, очищены от лишнего, храниться в единой системе. Реализация подхода связывается нами с решением технических и методологических вопросов машинного сбора доступных данных, их унификации, освоением методов выявления зависимостей, закономерностей на базе неявных множеств, визуализации данных, прогнозирования и планирования на основе данных в режиме реального времени, выявления потенциальных узких мест, сопоставления и анализа данных для их устранения. Датацентричный подход позволяет осуществлять проактивное управление на основе системного моделирования, предотвращать возникновение сбоев в системе, применять предупредительные меры для снижения количества проблем и оперативно их решать в случае возникновения. Для ПЛС создание в механизме адаптации к внешней среде блока инициативной обратной связи и блока анализа клиентского пути, его цифрового следа, скрытых потребностей, степени удовлетворенности позволит применить Agile-подход к проектированию, использовать гибкое внесение изменений в разрабатываемую систему платформенных решений логистического сервиса.

5. *Threat-driven подход* – подход к созданию и управлению системой, основанный на угрозах. Угрозы – люди или события, все то, что наносит ущерб системам и активам. Системы должны выделять соразмерный объем ресурсов для защиты своих активов, развивать навыки, необходимые для поддержки этих усилий.

В цифровой экономике все сделки происходят в цифровом пространстве в бизнес-приложениях, информационная подсистема сама становится реальностью и нарушение ее целостности и достоверности данных как главного актива является основной угрозой существованию бизнеса, так как перейти на «ручной» режим управления невозможно. В этой связи решение проблем кибербезопасности становится приоритетным.

К глобальным угрозам следует отнести и угрозы нарушения надежности цепей поставок, например, вследствие кризисных явлений из-за пандемии коронавируса. Уязвимость цепи поставок продемонстрировала ситуация с концентрацией производств в одних регионах при минималь-

ных запасах товарных и сырьевых ресурсов в других. Устранение подобных угроз связывается с трендом релокации производств из Азии в США и Европу, диверсификации цепей поставок с вовлечением местных производителей, исключением из цепи посреднических структур и нарастания автоматизации производств. Создание гиперсвязанных автономных производств, автоматических и роботизированных систем на мобильных платформах становится трендом обеспечения потребности в гибкости, скорости и перестройке на новые возможности цепей поставок.

Угрозы социальной напряженности связаны с растущей зависимостью от гаджетов и потери когнитивных способностей мозга и, как следствие, обесцениванием человека как работника; ростом конкуренции среди интеллектуалов, увеличением образованной безработицы; интеллектуализацией труда; устранением профессий с монотонным умственным трудом; усложнением компетенций работников. Для устранения угроз необходимо комплексные решения по организации обучения и переподготовки персонала, его адаптации к цифровой экономике, в том числе через развитие новых форм занятости, самозанятости и множественной занятости, формирование новых компетенций и навыков.

3.2. Поточковый аспект цифровой трансформации производственно-логистической системы

Цифровая трансформация ПЛС непосредственно затрагивает совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных материальных, информационных, сервисных, финансовых потоков, проходящих через звенья ПЛС.

Состав, форма, качественные параметры, источники получения, методы получения, перемещения, хранения, преобразования каждого из элементов, формирующих потоки, изменяются в результате внедрения цифровых и инновационных технологий.

Первостепенное значение для ПЛС имеют *информационные потоки (ИП)*, которые в значительной мере подвержены трансформации в результате внедрения цифровых технологий.

Обеспечить возможность точно и эффективно управлять ПЛС в режиме реального времени на основе информации и аналитических данных — основная задача ЦТ. Использование в комплексе ретроспективной и оперативной информации позволяет не только иметь сведения о поведении объекта в прошлом и управлять состоянием активов и жизненными циклами операций в реальном времени, но и моделировать возможные варианты поведения системы в будущем. Прогнозная аналитика позволяет

оценивать потенциальные результаты рабочих состояний и поведения систем, учитывая при этом даже переменные третьего порядка. Для моделирования незамкнутого цикла и прогнозной аналитики могут применяться детерминированные или недетерминированные модели.

Координация и синхронизация работ звеньев ПЛС требует использования достоверной и актуальной информации. Огромное количество необходимой для управления информации образуется, частично фиксируется и используется через Интернет вещей, датчики различных систем контроля производства и элементов инфраструктуры, мобильных телефонов, GPS. Непосредственной задачей трансформации ИП стал поиск способа генерации потоков прямой и обратной связи, отслеживания, хранения, анализа и эффективного использования этих данных.

Модель «цифрового двойника» является информационной основой работы всей ПЛС. Цифровой двойник (ЦД) – это обучаемая система, состоящая из комплекса математических моделей разного уровня сложности, уточняемая по результатам натурных экспериментов, позволяющая получить первый натурный образец изделия, соответствующий требованиям технического задания, а также предсказывающая его поведение на всем жизненном цикле [106].

Следует отметить исследование схем построения ЦД, выполненное А. Н. Прохоровым, М. Н. Лысачевым [82]. Так, ЦД, основанный на данных (Analytics based DT), создается по схеме от экспериментальных данных, собранных датчиками и от IoT-платформы, через обработку этих данных с помощью аналитических технологий, включая средства машинного обучения.

ЦД, основанный на численном моделировании физических процессов (Simulation-Based DT), реализует схему, когда исследование идет от объекта и процесс сводится к математическому моделированию: «численное моделирование физических процессов + датчики → сбор данных → IoT-платформа». Данные от реального объекта дополняют математическую модель, служат для определения граничных условий для решения систем дифференциальных уравнений. Численное решение дифференциальных уравнений в частных производных с использованием метода конечных элементов может требовать существенных временных ресурсов даже при наличии мощных вычислительных систем.

«Гибридный ЦД» (Hybrid Digital Twin) работает по схеме: «математическое моделирование + датчики → сбор данных → IoT-платформа → аналитика».

При реализации замкнутой схемы (рис. 3.7) процесс развивается по спирали.

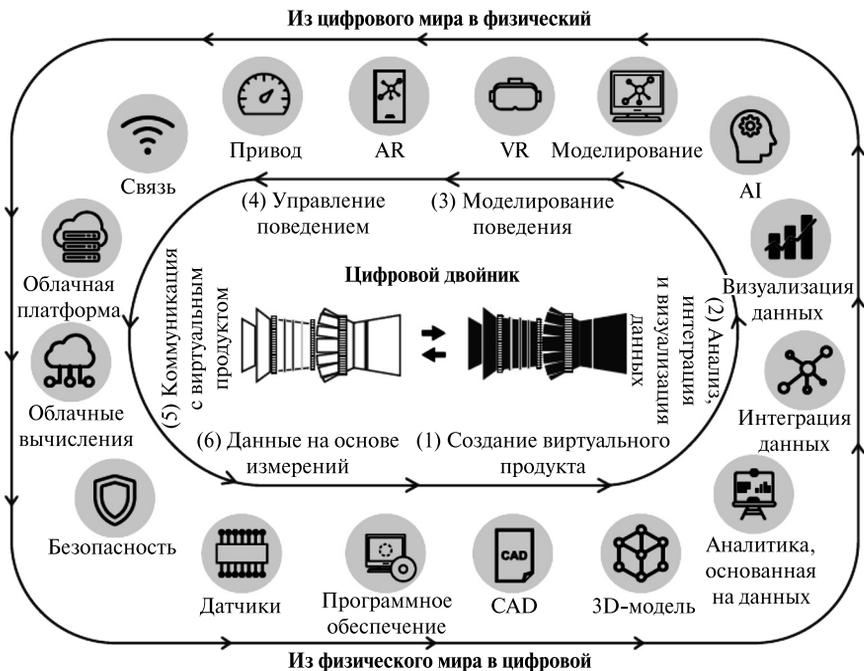


Рис. 3.7. Замкнутая схема построения цифрового двойника

Источник: [82, с. 82].

Создается виртуальная модель, затем она дополняется данными от реального физического изделия, ЦД обнаруживает закономерности в работе изучаемого реального объекта (в том числе выявляются различного рода проблемные места), полученные закономерности закладываются в разработку новой версии изделия, вместе с которым появляется модифицированный ЦД.

Создание цифрового двойника происходит на всех этапах жизненного цикла по всей цепочке добавленной стоимости [92]. Инжиниринговый центр (Центр компьютерного инжиниринга – ComrMechLab®) СПбПУ Петра Великого применяет цифровую платформу CML-Bench™ для проектирования и производства глобально конкурентоспособных продуктов нового поколения, проведения виртуальных испытаний, создания виртуальных полигонов и стендов, цифровых двойников изделий и процессов их производства с применением передовых производственных технологий [107].

Группа исследователей (А. И. Боровков и др., 2018) предлагают следующий алгоритм формирования цифровых двойников [90]. Цифровой

двойник объекта / продукта (Digital Twin, DT-1) и цифровой двойник производства (Digital Twin, DT-2) объединяются в рамках единой цифровой модели на основе выполнения десятков тысяч виртуальных испытаний в процессе специальным образом организованной цифровой сертификации. Это позволяет сформировать «умный» цифровой двойник первого уровня (Smart Digital Twin, SDT-1).

На этапе эксплуатации SDT-1 дает возможность создать «умную» цифровую тень (Smart Digital Shadow, SDS) на основе «умной» модели, которая адекватно описывает поведение реального объекта / продукта на всех режимах работы (например, пуски и остановки, нормальные условия работы, нарушения нормальных условий работы, аварийные ситуации и др.). Формирование SDS происходит за счет получения оперативной информации о функционировании конкретного объекта / продукта при помощи технологий IoT и диагностики (Health Monitoring System, HMS).

Информация, полученная на этапе эксплуатации, позволяет продолжить «обучение» SDT-1, делая его еще более «умным», повышая его уровень адекватности и позволяя в дальнейшем моделировать с его помощью различные возможные и непредвиденные ситуации, включая их комбинации и «наложения», а также эксплуатационные режимы (например, оценивать уровень возможных повреждений или остаточный ресурс). Благодаря десяткам тысяч проведенных в процессе цифровой сертификации виртуальных испытаний при создании SDT-1, есть четкое представление о расположении критических зон, в которых имеет смысл размещать те или иные датчики (акселерометры, тензометры, датчики температуры, давления, скорости и т. д.). Это позволяет радикально сократить число самих датчиков и регулярно (например, ежедневно) получаемый объем больших данных (фактически вместо Big Data формируется Smart Big Data), увеличить скорость их обработки и внесения необходимых изменений в SDT-1 для его трансформации в «умного» цифрового двойника второго уровня (SDT-2).

Благодаря возможностям междисциплинарного моделирования, анализа данных и машинного обучения, цифровые двойники позволяют смоделировать и оценить влияние изменений требований, сценариев использования, технологий производства, условий окружающей среды и множества других переменных на работоспособность сложных изделий.

Масштаб используемых данных определяется ростом сложности изделия: числа его подсистем и разнообразия технологий, на которых они основаны. Рост сложности можно изобразить цепочкой: «система механическая → электромеханическая → система, управляемая компьютером → подключенные сервисы → смарт продукт → интерактивное решение → „умные“ системы».

Современные системы и изделия создаются с учетом требований к взаимоподключаемости и взаимодействию через технологию IoT. В таких изделиях возможность анализа в реальном времени сочетается с возможностью обмена данными между различными машинами, машиной и инфраструктурой и между пользователем и машиной, поэтому эти изделия могут постоянно адаптироваться. Такая усложненная взаимоподключаемость между служебными системами и прочими «интеллектуальными» изделиями фактически трансформирует современные устройства в системы систем, резко увеличивая общую степень сложности [108]. Сложность «умных» продуктов повышается за счет того, что многие новые функции действуют благодаря программному обеспечению, работающему как на самом устройстве, так и в вычислительном облаке, в результате чего сложно понять, где начинается и где заканчивается область применения продукта.

Современные «умные» изделия имеют в составе механико-электронные системы (Mechanical Electronic Software Systems, MESS-системы) с встроенным программным обеспечением, которое может обращаться к внешним хранилищам данных, что делает системы подключенными (MESS + Network). Так, например, бортовой компьютер автомобиля получил возможность связываться с системой спутников для обеспечения навигации. Это позволило образовывать системы систем, которые становятся все более взаимосвязанными и взаимозависимыми, что приводит к потенциальному росту уязвимостей, которые все труднее просчитывать, предвидеть и планировать.

Данные формируются на протяжении всего жизненного цикла изделия и для работы с ними применяются технологии непрерывной информационной поддержки поставок и жизненного цикла изделия (Continues Acquisition and Life cycle Support, CALS). Компьютерные технологии электронного сопровождения разработки, производства и эксплуатации сложной наукоемкой продукции CALS отражены на рис. 3.8.

Кроме того, к CALS-технологиям относятся:

- Concurrent Engineering – средства реализации технологии параллельного тотального проектирования в режиме группового использования данных;
- EDM (Enterprise Data Management) – система управления проектными и инженерными данными;
- системы визуализации всего процесса разработки документации;
- средства обмена данными;
- средства разработки прикладного программного обеспечения;
- методики анализа процессов проектно-технологической, производственной и управленческой деятельности.

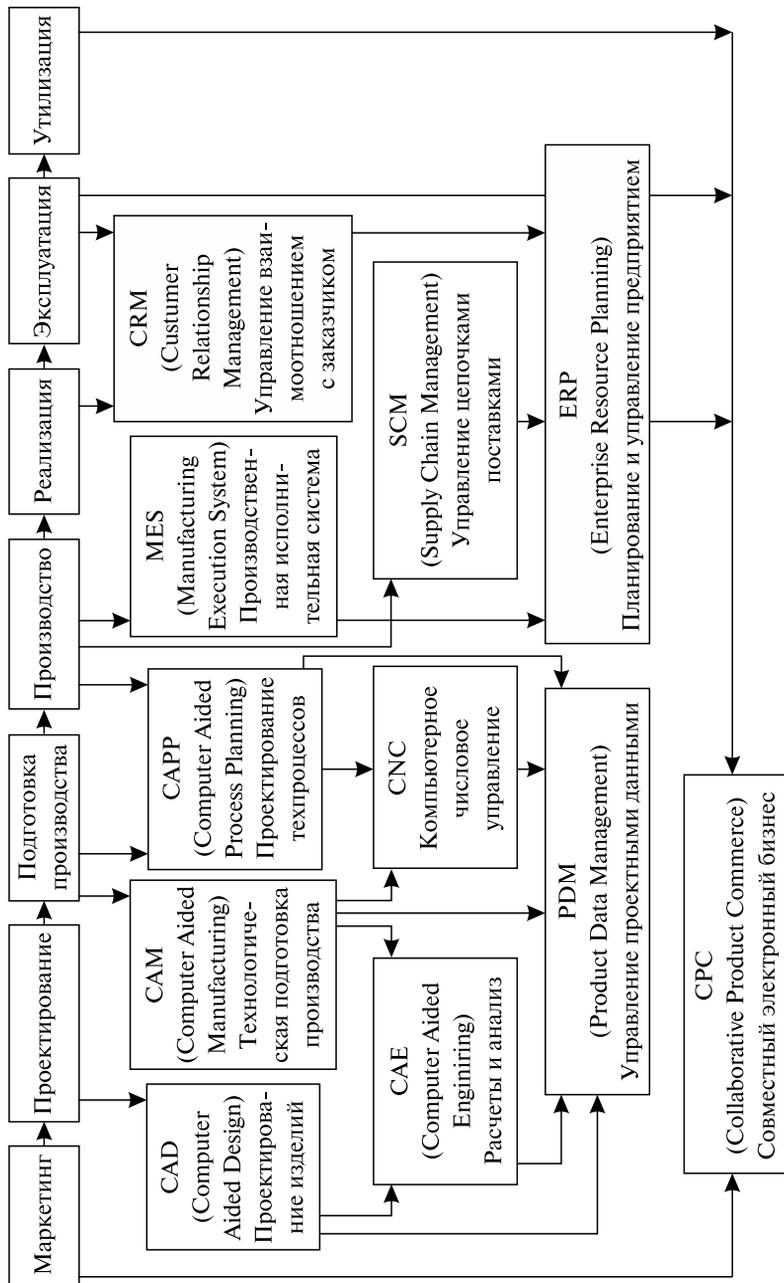


Рис. 3.8. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

Источники: [109].

Очевидно, что процессы жизненного цикла разнесены по разным информационным системам и, как правило, по разным структурным подразделениям. И даже если они передают друг другу данные в электронной форме, — это не значит, что эти данные доступны в единой непрерывной цифровой среде. Существует проблема хранения данных в неинтегрированных системах («Silo problem»), когда информация создается большим числом приложений от разных вендоров в файлах различных форматов в CAD-, Excel-файлах, PDF- и SysML-моделях.

Решению этой задачи должна способствовать методология системной инженерии на основе моделей (Model Based System Engineering, MBSE). Ее цель состоит в том, чтобы создать единую, унифицированную модель системы, из которой могли бы быть сформированы все документы и представления об объекте. Эти документы должны быть непротиворечивыми, согласованными, сгенерированными из «единого источника истины». Ключевая характеристика MBSE — это поддержка одновременного использования множества методов описания (viewpoints), т. е. одновременного применения множества методов моделирования для получения множества групп описаний (views) для разных задач. Так, например, математическая модель детали — это центральное звено всей цепочки производственных систем CAD/CAM/CAE/PLM, выступающее в различных качествах:

- компонент объемной сборки (компоновки) для наглядного представления изделия и изготовления реальных деталей, например, на оборудовании с ЧПУ;

- составная часть моделей сопрягаемых с ней деталей и компонентов объемной сборки для проверки возможных конфликтов собираемости, взаимных пересечений, соударений и т. п.;

- составная часть расчетных алгоритмов и программ, например, для получения массово-инерционных характеристик или анализа прочности методом конечных элементов;

- эталон для контроля точности и качества.

Концепция МВЕ объединяет в едином цифровом пространстве различные элементы общей модели, которые находятся в разных подмоделях и базах данных. Это позволяет бесшовно передавать данные из одного инструмента в другой и синхронизировать все параметры модели по мере развития общей модели, визуализировать процесс совместной работы и отслеживать точки принятия решений на разных этапах проектирования.

Важным элементом организации информационного потока является цифровая нить (Digital Thread). Это средство обнаружения причинно-следственных связей в сложных наборах разрозненных данных. Цифровая нить обеспечивает непрерывность цифровой среды между стадиями жизненного цикла изделия (рис. 3.9).

Наличие цифровой нити предполагает такую организацию хранения информации, которая дает возможность ответить на вопрос: как принимались решения на разных этапах создания изделия; кто принимал эти решения; на каком наборе фактов они основывались; какие факты были доступны к моменту принятия того или иного решения.

Гибкое производство и автоматизация строятся на основе *промышленного Интернета вещей*. Объединение в сети оборудования с датчиками с высоким интеллектом и частичной автономностью, а также вынесенные на высокопроизводительные серверы или облака MES- и ERP-системы дают визуализацию технологического процесса в режиме реального времени. Управление потоками на основе IoT основано на получении и дальнейшей обработке информации с датчиков, камер, RFID-меток, специальных считывателей и датчиков для контроля, что позволяет в режиме реального времени спрогнозировать покупательский спрос, обеспечить должный уровень доступности товаров на прилавках и в складских запасах, организовать автоматическое пополнение [104; 110; 111].

Облачные вычисления — это модель предоставления удобного сетевого доступа в режиме «по требованию» к коллективно используемому набору настраиваемых вычислительных ресурсов (например, сетей, серверов, хранилищ данных, приложений и/или сервисов), которые пользователь может оперативно задействовать под свои задачи и высвободить при сведении к минимуму числа взаимодействий с поставщиком услуги или собственных управленческих усилий.

В этой модели потребления IT-продуктов и услуг вычислительные, storage-ресурсы и ядра используемых приложений находятся на стороне cloud-провайдера, в абстрактном дата-центре (отсюда и происходит метафора «облачные»). Облачные вычисления (Cloud Computing) — технология, которая позволяет использовать дополнительные ресурсы, находящиеся на других серверах. Пользователь системы загружает все необходимые программы и данные на серверы компании или использует ПО предлагаемое компанией-поставщиком услуги. Сервисы облачных вычислений предполагают управление программным обеспечением через обычные и привычные любому пользователю веб-браузеры.

Обработка огромного неупорядоченного объема разрозненной информации при помощи *технологии больших данных* (Big Data) позволит смоделировать оптимальное протекание процессов, определив наилучшие значения технологических параметров, полностью автоматизируют и оптимизируют производство, исключив человеческий фактор [110]. *Метод машинного обучения* позволяет решать задачи в режиме реального времени. При этом алгоритм решения при условии достаточного количества данных для обучения постоянно совершенствуется и устраняет

ошибки прошлого, сопоставляя ретроспективные данные с полученным результатом, извлекая ценный опыт.

Материальный поток (МП) образуют предметы труда: материально-сырьевые ресурсы, полуфабрикаты, комплектующие, заготовки, детали, узлы, изделия.

Трансформация состава, формы, качественных параметров материально-сырьевых ресурсов связывается нами с созданием материалов в ходе освоения производственных технологий V и VI технологического укладов: технологии производства новых материалов с заданными свойствами; биотехнологии; нанотехнологии; генно-инженерные и клеточные технологии; аддитивные технологии.

Стратегия «Наука и технологии 2018–2040» определяется перспективными направлениями развития технологий получения композитов и «умных материалов» в Беларуси [112]:

- расширение производства композиционных материалов с заданными функциональными свойствами;
- создание композиционных материалов с принципиально новыми техническими характеристиками на основе сочетания в одном материале компонентов разной природы, формы, размеров и регулирования их содержания;
- формирование полимерных композиций для текстильных композитов различного назначения;
- получение композиционных материалов на основе использования отходов нефтехимии и нефтепереработки;
- разработка самозатухающих/негорючих волокон и их композиций на основе целлюлозы и хитозана;
- разработка «интеллектуальных» материалов, объединяющих различные характеристики, которые значительно изменяются под влиянием внешних воздействий и создание на их основе «умных покрытий» и продуктов.

Переход на использование в ПЛС передовых материалов приведет к изменению как используемых технологий обработки материала, так и эксплуатации полученных изделий с ранее недостижимыми требуемыми свойствами. Наиболее интересным является создание 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 таких характеристик материалов как технологичность, весовая эффективность (отношение прочности к удельному весу), надежность (выносливость, сопротивление малоцикловой усталости, статической и циклической трещиностойкость) позволяет изменить область применения, режимы обработки, способы эксплуатации.

Следует отметить, что изменение параметров элементов входного МП влечет за собой и изменения подходов к обработке элементов внутрипроизводственного МП (заготовки, детали, сборочные узлы). Так, рост требований к точности обработки и появление продвинутых материалов (рис. 3.10) приводит нас к возможности применения аддитивных технологий, объединения проектирования материалов и изделий в едином процессе. Совмещение функций технологий и материаловедения вызвало новый процесс получения материала с одновременным формированием детали, что привело к использованию новой схемы «конструкция – материал – заготовка – технологический процесс – оборудование – деталь» [113].

Технологии разработки и производства материалов с заданными свойствами позволяют получить передовые материалы, которые находят применение в производстве [114]:

- жизненно важных лекарств и средств диагностики, экологически безопасных средств защиты животных и растений;

- заказных реактивов и особо чистых продуктов и материалов нового поколения для опто- и микроэлектроники, биоинженерии, лазерной техники, средств отображения и передачи информации; оптически прозрачных, тепло- и электропроводящих, химически- и терморadiационностойких полимеров, энергохромных материалов;

- химикатов-добавок новых поколений для придания материалам и изделиям износостойкости, химической, термической, световой, магнитной, радиационной устойчивости, повышения качества и снижения затрат при производстве масел и смазок;

- резинотехнических, пластмассовых изделий;

- в текстильной промышленности при создании новых композиционных, керамических и жароустойчивых материалов;

- в строительстве при создании новых вяжущих систем, специальных бетонов и растворов, гидроизоляционных материалов, клеев и герметиков;

- для создания новых поколений люминофоров, красителей, средств очистки воды, пищевых добавок, обеспечивающих повышение питательных, вкусовых качеств продуктов питания, снижение затрат на их производство и получение.

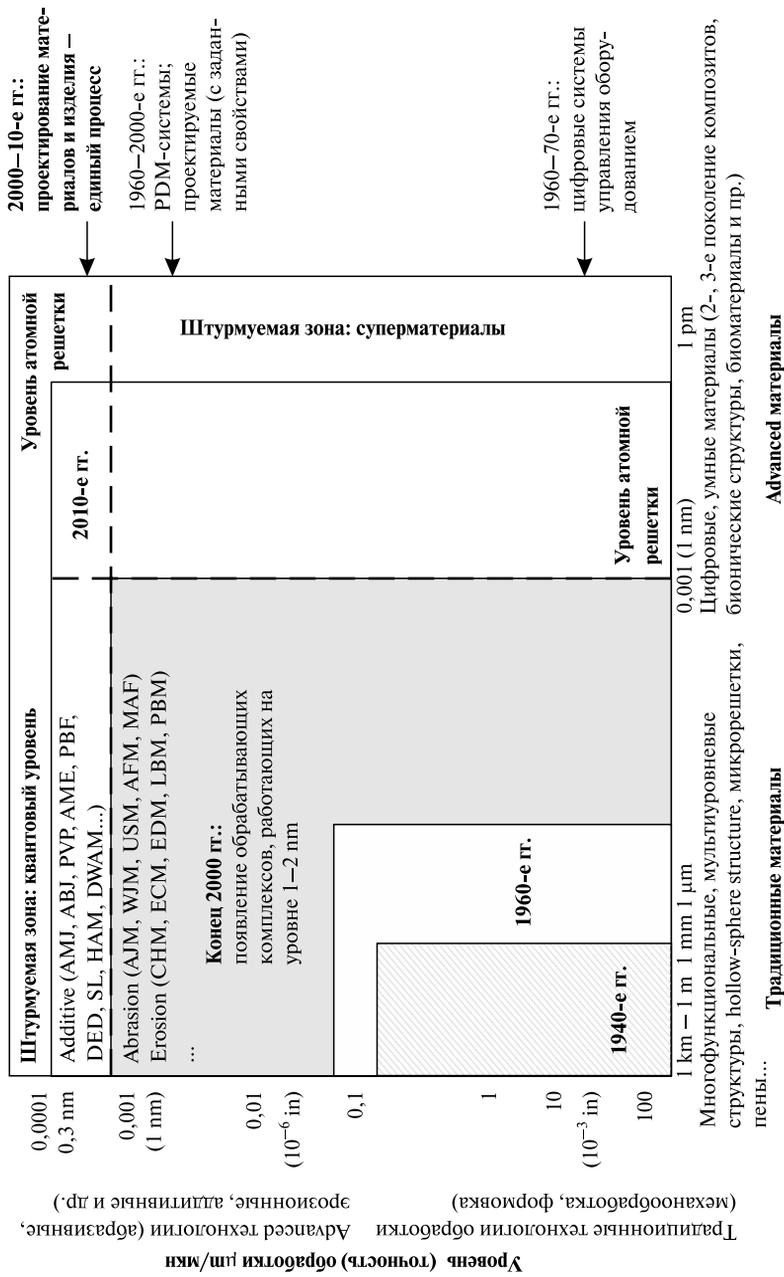


Рис. 3.10. Взаимосвязь роста точности обработки и появления новых материалов

Источник: [115, с. 15].

Трансформация методов получения ресурсов связана с освоением *аддитивных технологий*. ASTM International (American Society for Testing and Materials), которая занимается разработкой технических стандартов для широкого спектра материалов, изделий, систем и услуг, в своем стандарте ASTM F2792.1549323-1 определяет аддитивные технологии как «процесс объединения материала с целью создания объекта из данных 3D-модели, как правило, слой за слоем, в отличие от „вычитающих“ (subtractive) производственных технологий» и классифицирует аддитивные технологии следующим образом (версия 2012 г.) [116, с. 3]:

- Material extrusion – выдавливание материала;
- Material Jetting – разбрызгивание материала, струйные технологии;
- Binder jetting – разбрызгивание связующего;
- Sheet lamination – соединение листовых материалов;
- Vat photopolymerization – фотополимеризация в ванне;
- Powder bed fusion – расплавление материала в заранее сформированном слое;
- Directed energy deposition – прямой подвод энергии непосредственно в место построения.

Технологии аддитивного производства (АП) позволяют создать цельные трехмерные объекты практически любой геометрической формы на основе цифровой модели путем последовательного (послойного) добавления необходимого материала, что кардинально снижает его расход.

Оригинальные методы АП включают стереолитографию, лазерное спекание и сплавление материала, а также послойное нанесение материала. Примерами таких технологий являются как наиболее отработанные SLM-технологии выращивания изделия из металлического порошка, так и их разновидности, получившие развитие на базе технологий [117; 118]:

- SLM/DMLS (Selective Laser Melting) – технология выборочного (избирательного) послойного лазерного плавления/спекания мелкозернистых металлических порошков в специальной емкости;
- LMD (Laser Metal Deposition) – технология газопорошкового лазерного плавления и прямого послойного осаждения металлических порошков;
- MIM (Metal Injection Molding) и ее разновидности: SPJ (Single Pass Jetting) – технология, при которой разравнивающее устройство формирует слой металлопорошковой композиции толщиной до 50 мкм, через струйные сопла по форме сечения детали выпрыскивается связующий полимер, отверждающийся излучающим нагревательным элементом;
- BMD (Bound Metal Deposition) – технология выдавливания через разогретую фильеру связанного полимерным связующим металлического

порошка, который загружается в машину в виде металлополимерных стержней.

– 3D-MP (3D Metal Print) – технология осаждения/наплавки проволоки методом электродуговой сварки (gas metal arc welding, GMA welding, GMAW), которая активно продвигается компанией GEFERTEC GmbH (Берлин, Германия). В отличие от известных процессов ручной, полу- или автоматической сварки (GMAW) в среде инертного газа (metal inert gas, MIG) или активного газа (metal active gas, MAG) 3D-MP-технология – полностью автоматизированный процесс, использующий массивы CAD/CAM-данных. Достоинством процесса является работа с обычной стандартизированной и локализованной сварочной проволокой «из коробки», которая выпускается промышленностью в широкой номенклатуре материалов.

В соответствии с технологией в качестве материалов используют проволоки и порошки из полимеров, композиционных материалов или металлов. Например, есть проект по печати композитом на основе полимерной матрицы (содержание пластика 8–20 %) с вкраплением металлического порошка, в частности меди, бронзы и стали. Развитию АП способствовало существенное расширение номенклатуры металлопорошковых материалов. Уже применяют десятки видов разнообразных композиций от обычных конструкционных сталей до жаропрочных сплавов и драгметаллов и этот перечень увеличивается. Порошки для АП-машин должны состоять из частиц сферической формы. Определенные трудности при работе с мелкодисперсными порошками возникают в связи с их повышенной склонностью к комкованию. Это накладывает особые требования к условиям хранения материалов и эксплуатации АП-машин.

Отметим, что не существует всеобщих требований к металлопорошковым композициям, применяемым в АП-технологиях. Разные производители АП-машин предписывают работу с определенным перечнем материалов. Они же обычно являются и поставщиками расходных материалов, причем сами не производят порошки, но участвуют в их подготовке для работы именно на своих машинах. Порошок закупают на фирмах-изготовителях порошковых материалов для разнообразных нужд порошковой металлургии (TLS Technik GmbH & Co. Spezialpulver KG (Германия), Wiretec Handels- und Beratungsgesellschaft mbH (Германия), Raymor Industries Inc. (Канада), LPW Technology (Великобритания)). Закупленный порошок подвергается просеиванию и разделению на фракции, производится смешение фракций в определенных соотношениях и фасовка в герметичную тару. Но нет унификации порошков разных производителей.

Подчеркнем, что в мире существует несколько десятков крупных компаний-производителей металлопорошков по технологиям газовой,

вакуумной или центробежной атомизации (США, Франция, Германия, Швеция, Япония, Китай и др.). Сами технологии атомизации относятся к топ-уровню и являются средоточием последних научных достижений в металлургии, гидро- и газодинамике, физике плазмы, электротехнике и др. За редким исключением такие технологии не продаются и не лицензируются. Фирмы, владеющие ими, сосредоточены только на производстве порошков. Так, шведская компания Sandvik Osprey – один из лидеров мирового рынка по производству металлических порошков, – имея оборудование собственной конструкции и ноу-хау, не продает более ни оборудование, ни технологии. В Европе ALD Vacuum Technologies (Германия); PSI (Phoenix Scientific Industries Ltd.) и Atomising Systems Ltd. (обе Великобритания) производят атомайзеры в качестве товарной продукции.

Для изготовления сложных деталей используют порошковую металлургию (powder metallurgy), инъекционное литье порошковых композиций (PIM – powder injection molding), литье под давлением (diecasting), литье по выплавляемым моделям (investment casting) и традиционную механообработку (machining).

Порошковая металлургия объединяет в себе разноплановые методы производства порошков на основе металлов и их сплавов, соединений металлообразного типа, готовых продуктов и полуфабрикатов из них, а также миксов из них с порошками неметаллической природы без применения технологии плавления применительно к базовым компонентам. Технология включает в себя получение базовых металлических порошков и их смешивание, спрессовывание порошков или сделанных из них смесей, формирование заготовок и спекание. При помощи порошковой металлургии можно получать сплавы компонентов, которые не растворяются друг в друге в расплавленном состоянии, изготавливать твердые сплавы вольфрама, тантала, кобальта, а также изделия сложной конфигурации или изделия с высокими или заданными свойствами тепло- и электропроводности.

Технология *инъекционного литья порошковых композиций* позволяет изготавливать не только детали из металла (MIM, metal injection molding), но и керамические детали (CIM, ceramic injection molding) путем заливки состава в форму под давлением методом впрыска. PIM-технология включает в себя выбор исходного материала, состоящего из металлического/керамического порошка и связующих компонентов, предварительное спекание для удаления связующего материала и окончательное спекание. Сырьем для литья может служить любой материал в виде спекаемого порошка (обычно это металлы, их оксиды и карбиды, керамика), который смешивается с полимерным связующим. В качестве связующего элемента применяют термопласты либо реактопласты. Состав порошков весьма

разнообразен. Производство сырья для PIM-технологий также сосредоточено в Европе. Одним из крупнейших мировых производителей фидстоков является немецкий концерн BASF.

Развиваются технологии, реализующие восходящий процесс создания материала и детали, когда деталь и материал формируются одновременно. Например, *технология тиксоформинга*, которая основана на управлении фазовым превращением и текучестью и объединяет известные традиционные подходы литейного производства и обработки давлением. При тиксоформинге формообразование структуры продукта осуществляется в твердожидком состоянии сплавов с помощью давящего на металл инструмента. Высококачественные детали сложной геометрической формы создаются благодаря высокой текучести суспензий металлов и металломатричных композитов и их свойствам, которые позволяют управлять структурообразованием материала детали на микронном масштабном уровне.

Выполняется синтез жидкого сплава требуемого состава, управляемая кристаллизация с частичным отверждением металла и с обеспечением требуемых размеров, задаваемой недендритной морфологией и термодинамическим потенциалом частиц твердой фазы, влияющих на способность первичных кристаллов и окружающей их жидкости к относительным перемещениям и деформированию, пригодности к формированию новых структур в очаге деформации. А затем переработка на прессах, экструдерах, машинах ЛПД для формирования фасонных изделий или профильных полуфабрикатов с ранее недоступной структурой и свойствами [119].

Активно развивается использование *многослойных структур на основе керамики* в процессе производства приборов и узлов современной микроэлектронной промышленности. Низкотемпературная керамика (Low Temperature Co-fired Ceramics, LTCC), высокотемпературная керамика (High Temperature Co-fired Ceramics, HTCC) и многослойные керамические конденсаторы (Multilayer Ceramic Capacitor, MLCC) широко используются в устройствах для телерадиовещания, телекоммуникаций, медицины, а также для военных и космических отраслей.

Качество и характеристики керамики зависят от подготовки суспензии (шликера) для последующей отливки керамической ленты. Разработка шликера все чаще выполняется специализированной компанией под заказ рецептуры приготовления шликера и паст металлизации под керамические ленты с конкретными параметрами.

Изменяется и *источник получения ресурсов*: переход от добычи в пользу вторичного использования изделий, компонентов, материалов обеспечивают замкнутые цепи поставок. Переход к повторному использованию ресурсов обуславливается не только ужесточающимися экологическими

нормами, но и подтвержденной на практике выгодой от перехода на модели экономики замкнутого цикла [120].

На выходе из ПЛС в состав МП входит готовое изделие. Однако для удовлетворения потребностей покупателя переход от продажи товара к продажам комплекса «товар + услуга» находит продолжение в комплексе «товар + сопровождение на протяжении жизненного цикла». Так, можно говорить про интеграцию материального и *сервисного потоков* (СервП), которые образуют разнообразные услуги пред- и послепродажного характера.

Достаточно распространена практика *поставок комплектного оборудования* – промышленного оборудования, объединенного в единый технологический комплекс, предназначенный для выпуска определенной продукции, готовой к потреблению или дальнейшей переработке. Предметом договора при торговле комплектным оборудованием является комплектный объект, который определяется как совокупность проекта, комплекта технологического оборудования и материалов, а также услуг по строительству, монтажу, наладке и пуску объекта в эксплуатацию по определенной технологии, связанных воедино на предоставленной заказчиком площадке. Одна комплектующая фирма выступает поставщиком всего оборудования и всех комплектующих изделий, входящих в технологическую линию или установку, независимо от того, кем они изготавливаются. Поставка осуществляется на основе прямых договоров между поставщиками и заказчиками по графикам, увязанным со сроками выполнения строительно-монтажных работ и предоставления фронта работ под монтаж оборудования, а также при условии соблюдения строгой очередности поставок и проведения технического надзора и шефмонтажных работ. Графики работ являются приложением к договорам.

Контракт на поставку комплектного оборудования содержит комплекс обязательств по поставке в соответствии с согласованным графиком, предоставлению заказчику дополнительных услуг по проектированию, монтажу и пуску оборудования в эксплуатацию.

Торговля комплектными объектами может осуществляться в следующих формах [121]:

- на условиях технического содействия. Предусматривает использование инвестором посреднических услуг специализированных инженеринговых фирм и фирм-девелоперов, которые принимают на себя в том числе функции по комплектации, установке или техническому надзору за монтажом оборудования;

- на условиях подряда или «под ключ» – поставщик полностью отвечает за сооружение объекта и считается выполнившим свои обязательства при передаче заказчику ключа от готового для эксплуатации предприятия;

– на условиях подряда или «под готовую продукцию» («продукция в руки») – поставщик полностью отвечает за сооружение объекта и считается выполнившим свои обязательства при достижении объектом расчетной мощности по выпуску продукции;

– расширенное техническое содействий. Поставки комплектных объектов в виде участков цехов законченных производств (предприятий). Она предусматривает также прединвестиционное исследование, проектирование, строительное-монтажное производство, обучение персонала, последующее гарантийное обслуживание.

В мировой практике существуют различные договорные типы регулирования отношений в области управления строительством и реализации инвестиционно-строительных проектов [7]. Например, договор EPC (engineering, procurement, construction) – инжиниринг, поставки, строительство, договор EPCM (engineering, procurement, construction management) – управление инжинирингом, поставками, строительством. Предмет договора, так же как и в случае с EPC, – проектирование, оборудование, строительство и передача заказчику полностью готового объекта «под ключ».

Термин «контракт жизненного цикла» является переводом термина «Life Cycle Contract». В некоторых европейских странах данный контракт называется DBFM (Design–Build–Finance–Maintain) и является одной из разновидностей концессий.

Контракт жизненного цикла (КЖЦ) – контракт на приобретение товара или работы, дальнейшее обслуживание, ремонт, эксплуатацию, уничтожение товара (объекта). КЖЦ – это соглашение на комплекс работ (проектирование объекта, строительство и ввод в эксплуатацию объекта капитального строительства либо его изготовление и последующее обслуживание и эксплуатация, включая утилизацию), т. е. работы «под ключ». По условиям контракта головной исполнитель обязуется провести конструкторские работы, согласовать их результаты с государственными заказчиками, осуществлять производство и последующую поставку предмета контракта, производить техническое обслуживание образца в ходе эксплуатации и обеспечить его утилизацию по окончании жизненного цикла. В качестве критерия оценки заявок потенциальных поставщиков берут не цену контракта и последующие эксплуатацию и ремонт, а общий критерий – стоимость жизненного цикла. Оценка потенциальных затрат поставщика осуществляется путем детального анализа организации процессов эксплуатации изделия с применением методов оценки надежности, готовности и ремонтпригодности, а также анализа стоимости ЖЦ закупаемого изделия.

Важной отличительной чертой контрактов ЖЦ является применение принципа оплаты по нормируемым показателям конечного результата (например, за один 1 млн км пробега при уровне технической готовности подвижного состава не ниже 98 %). Это стимулирует поставщика к безусловному выполнению требований, касающихся технического состояния, снижения технических и технологических рисков эксплуатации изделий, поскольку приводит к снижению издержек на обслуживание и повышению прибыли.

В основе трансформации *финансовых потоков (ФП)* лежит использование технологии *блокчейн*, которая имеет в основе так называемый распределенный реестр, т. е. разновидность баз данных. Особенность данной технологии заключается в том, что копии реестра находятся одновременно у множества пользователей, что гарантирует безопасность для хранимых данных и прозрачность совершаемых при помощи данной технологии сделок.

3.3. Цифровая трансформация производственно-логистической системы в социкиберфизическую систему

Неоднородная природа системы из-за участия в ней людей, физических объектов, информации, действующих под влиянием природной среды и возмущающих отклонений как с элементами неопределенности (непредсказуемо), так и по заданному алгоритму, делает результаты работы ПЛС стахостическими. Поиск возможности исключить неопределенности, вызванные человеческим фактором, привел к идее полной автоматизации процессов – созданию *киберфизических систем (КФС)*. Эти системы состоят из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров. Их образуют интеллектуальные и эффективно интегрируемые физические компоненты со встроенными в них вычислительными ресурсами, т. е. сенсоры, актуаторы, распределенные центры управления, проводные и беспроводные сети связи, с полным аппаратно-программным обеспечением.

В состав КФС входят:

– совокупность взаимосвязанных физических компонентов, реализующих технологический процесс, включая исполнительные механизмы, выполняющие манипулирование физической реальностью с помощью аппаратного и программного обеспечения;

– совокупность информационных компонентов, осуществляющих управление процессом в разной степени автоматизации, включая:

- инфраструктуру для хранения и обработки данных внутри цифровой среды;
- технологии анализа и обработки данных из процессов и для бизнес-операций.

– коммуникационная среда, обеспечивающая обмен информацией внутри системы и с окружающей средой и передачу управляющих команд исполнительным механизмам, включая:

- датчики, которые собирают данные из физического окружения и передают их в цифровую среду
- человеко-машинный интерфейс для взаимодействия человека с киберфизической системой;
- технологии передачи данных для обмена ими между цифровой и физической средой.

Для создания киберсреды цифрового производства необходимо сформировать следующие компоненты [122]: корпоративную информационную среду, АСУ предприятия с центром управления. Подсистема обеспечения технологического процесса должна включать в себя АСУ технологических процессов, исполнительный механизм АСУТП, коммуникационную сеть, соединяющую физические компоненты, реализующие процесс производства и управляемые программируемыми контроллерами. Сформированная подсистема обеспечения безопасности производства обязательно должна состоять из средств информационной безопасности и системы управления защитой.

КФС, включающие в себя «умные» машины, системы хранения и передачи данных, способны автономно обмениваться информацией, вызывать действия и контролировать друг друга. Конвергенция физических процессов производства, обеспеченных непрерывным управлением в реальном времени, с программно-информационными системами с предсказательной аналитикой, точным прогнозированием тенденций и предпочтений потребителей, делают киберфизическую систему гибкой, адаптивной и устойчивой.

Следует отметить, что именно массовое появления объектов, способных объединяться в КФС, сделает возможным создание «умных заводов» (рис. 3.11). Хотя киберфизическая система позиционируется как производство без человека, участие человека в системе сохраняется. Функцию человека как непосредственного исполнителя технологического процесса заменяет робот, автомат, станок с ЧПУ. Но человек как носитель интеллектуального и трудового ресурса меняет роль исполнителя трудовых процессов, рабочего-станочника на роль программиста, аналитика, диспетчера.

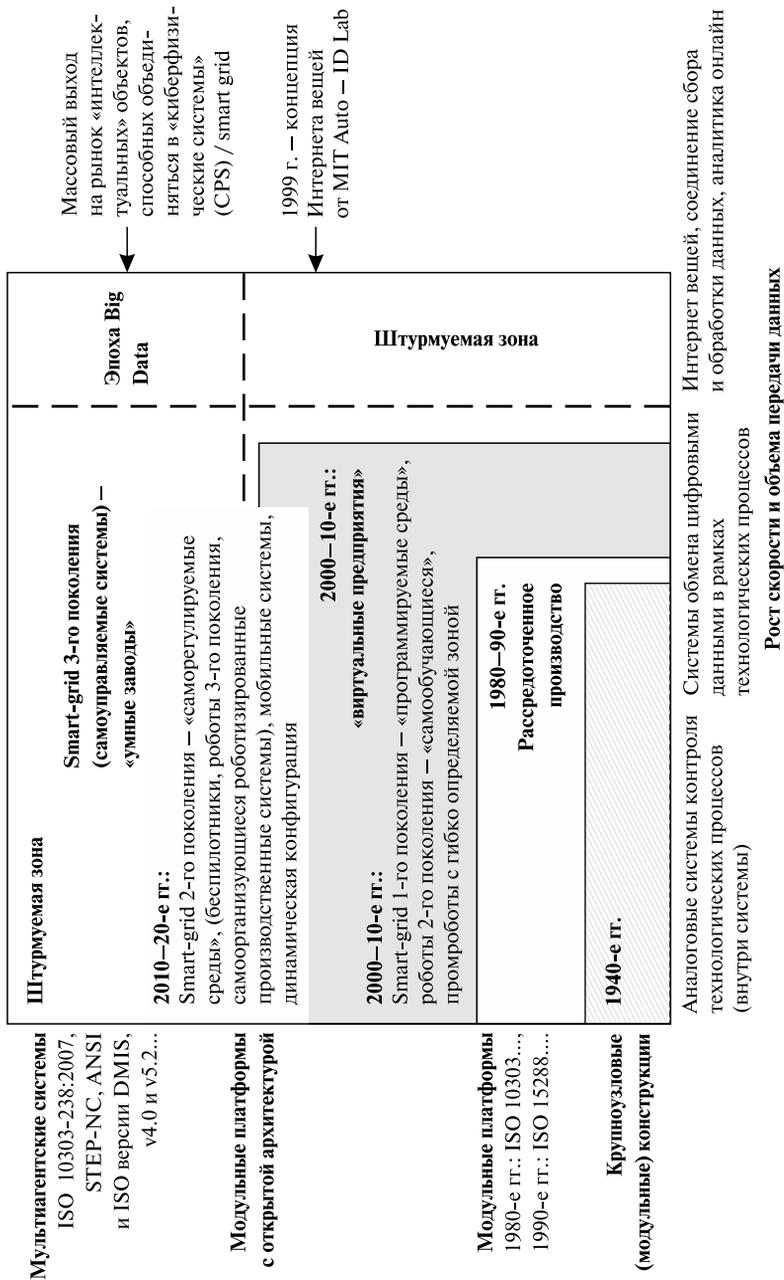


Рис. 3.11. Развитие производств: распределенное производство, виртуальное производство, «умные заводы»
Источники: на основе [115, с. 18].

С другой стороны, человек как потребитель продукции вовлекается в ее производство, становится элементом системы создания новых товаров с высокой потребительской ценностью. Он не только задает цели и задачи системы, но и становится сотворцом, соисполнителем процессов проектирования новых изделий. Трансформация роли и места человека в ПЛС позволяет нам говорить о создании *социокиберфизической системы* (СКФС) цифрового типа. Базируясь на результатах, представленных в [123–126], можно выделить сущностные характеристики СКФС цифрового типа.

1. Киберфизические системы состоят из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, которые представляют собой единое целое. Их образуют интеллектуальные и эффективно интегрируемые физические компоненты со встроенными в них вычислительными ресурсами, а именно: сенсоры; актуаторы; распределенные центры управления — проводные и беспроводные сети связи с полным аппаратно-программным обеспечением.

2. Участие человека в системе как ресурса и как потребителя позволяет говорить о социокиберфизической системе (или кибер-физико-социальной системе (cyber-physical-social system)). Включение в КФС социального пространства, участие и взаимодействие людей делает поведение (функционирование) СКФС слабо предсказуемым. Следует согласиться, что управление «в конечном итоге сводится к организации целенаправленного формирования возбуждающих и тормозящих стимулов (управляющих воздействий) в многочисленных контурах прямых и обратных связей, обладающих большой динамической инерционностью и требующих проведения многовариантного упреждающего (проактивного) прогнозирования сценариев функционирования СКФС» [126, с. 107].

3. Работа СКФС неразрывно связана с технологиями индустриального Интернета вещей и реализацией межмашинного взаимодействия. Замкнутый контур цифровой автоматической системы управления, обеспечивающей выполнение заданных технологических операций в автоматическом режиме, образует цепочку «рабочий центр — датчик — контроллер управления — привод».

Трансформацию ПЛС в социокиберфизическую систему следует проводить путем освоения цифровых и управленческих инструментов [127].

Цифровое моделирование и проектирование, создание цифровых двойников продукта и процессов его производства на всем протяжении жизненного цикла требует использования аппаратных и программных средств автоматизации и связи, систем моделирования и поддержки принятия решений, программного обеспечения по подготовке производства

(CAD/CAM/CAE/PDM), управления производством (ERP, MES) и ресурсами (EAM, ТОиР). Информация, циркулирующая в этом замкнутом контуре, трансформируется в знания за счет технологий генерации и обработки больших данных (BigData), автоматизации обработки данных, расширенной аналитики, централизации и виртуализации данных, в том числе с использованием искусственного интеллекта [128].

Цифровые технологии лежат в основе *преобразования элементов ПЛС* для формирования СКФС [104; 111; 129; 130].

Взаимодействие отдельных компонентов систем в составе единой производственной линии осуществляется на основе схем M2M и S2S, т. е. Machine-to-Machine и Systems-to-Systems соответственно. Станки, объединенные на базе цифровых технологий в сети, полностью автоматизируют и оптимизируют производство. Информационные процессы, циркулирующие в этом замкнутом контуре, становятся доступны персоналу за счет обмена, поддерживаемого контроллером Интернета вещей.

Интернет вещей (Internet of Things) – это большая сеть искусственных и естественных физических объектов, которые связаны с использованием датчиков и интерфейсов прикладного программирования (API) для совместного использования данных через Интернет. IoT представляет собой конвергенцию информационных технологий и оперативных технологий (OT). IoT охватывает сенсоры – мониторинг различных активов внутри ПЛС и информацию – извлечение смысла из огромного количества данных, которые превращаются в аналитические выводы и ведут затем к принятию новых решений. В этой связи требуются системы анализа информации.

Для подключения активов IoT использует проводные и беспроводные локальные соединения (Bluetooth, RFID, ZigBee, Wi-Fi), ячеистую сеть, соединения широкой области (4G, 5G, LTE). Ридеры и метки Bluetooth Low-Energy (BLE) – это встроенные датчики для мониторинга температуры, движения, освещения и давления. Ридеры обмениваются этими данными через сотовые сети и могут выполнять функции ретрансляторов для других устройств, создавая ячеистые сети. Метки, питаемая от батарейки-таблетки, работают годами и совместимы с любым мобильным устройством, поддерживающим стандарт BLE. Для защиты данных они могут производить шифрование. Основные возможности IoT в ПЛС [131; 132]:

– подключенное производство (Connected Production Floor) показывает уровень производительности машин, условия окружающей среды, потребление энергии, состояние запасов и поток материалов. Датчики могут предупредить менеджеров о превышении допустимых уровней вибрации или температуры, о неисправностях или склонностях к сбою и осуществлять профилактическое (превентивное) обслуживание;

– мониторинг состояния, местонахождения параметров товаров при помощи RFID-меток и датчиков;

– управление запасами и прогнозирование будущих потребностей в запасах через автоматическую инвентаризацию, сбор и анализ данных;

– мониторинг оборудования и сотрудников (Equipment and Employee Monitoring) при помощи датчиков IoT осуществляется контроль безопасности и состояния людей, контроль хронических заболеваний. Он позволяет повысить оптимальность использования активов. Так, датчики могут быть применены для наблюдения за тем, как часто и в какое время активы используются или находятся в режиме ожидания, а затем анализ данных может определить оптимальные показатели скорости и пропускной способности активов;

– управление парком при помощи телематики и GPS-позиционирования, мониторинг и анализ характеристик автомобиля и поведения водителя, нагрузки и неисправностей транспортных средств;

– управление местоположением, оптимизация планирования маршрутов, управление расходом топлива и сокращение выбросов для увеличения показателей зеленой деятельности компании.

Управление оборудованием персонал осуществляет удаленным способом при помощи средств вычислительной техники (компьютер, планшет, телефон), подключенных к поддерживаемой различными спецификациями беспроводной сети промышленного IoT. Связь элементов системы, подключенных к беспроводной сети промышленного Интернета вещей, поддерживается различными спецификациями беспроводных сетей. Технологии Blockchain, Big Data, облачные сервисы призваны обеспечить передачу, хранение и обработку информации, собранной с датчиков.

Коммуникацию и управление оборудованием персонал осуществляет при помощи *специализированных носимых устройств* (wearables). К ним относятся:

- часы (Apple Watch, Samsung Gear 2, Motorola Moto 360 и т. д.);
- фитнес-браслеты и пульсометры (Xiaomi, MIO, HealBe и т. п.);
- «умные» очки AR (Google Glass, Recon Jet и т. д.);
- «умные» очки VR (Oculus, HTC Vive, Sony Play Station VR и др.);
- предметы одежды («умные» ботинки, брюки, рубашки и т. д.);
- бижутерия (кольца и другие мелкие украшения).

Гаджеты могут включать в себя камеру, термометр, акселерометр, барометр, компас, GPS-навигатор и др. Устройства собирают информацию с помощью внешних и внутренних сенсоров. Чаще всего поддерживают технологии Bluetooth, Wi-Fi и GPS.

Носимые устройства в ПЛС используются для контроля за работой персонала [133]. Так, интеллектуальная система распределения нагрузки на складской персонал, разработанная LOGISTIX на базе фитнес-браслетов Samsung Gear Fit 2, благодаря технологии биотелеметрии замеряет пульс и другие показатели сотрудников, а модуль балансировки LEAD WMS помогает распределять задания между сотрудниками так, чтобы исключить их переутомление и поддерживать эффективную производительность труда.

Для снижения нагрузки на человека используется *экзоскелет* — это своего рода панцирь, укрепляемый снаружи тела [134; 135]. Его задачей является увеличение мышечной силы пользователя с меньшим риском травмирования. Различают экзоскелеты:

- пассивные — содействуют работнику при подъеме тяжестей с помощью механических средств (системы тросиков или пружин), принимая нагрузку как своего рода противовес и превращая ее в энергию. При этом нагрузка снижается до 40 %;

- активные — предлагают дополнительное наружное содействие благодаря двигателям или пневматическим системам, которые работают на суставах и иных важных точках на теле работника.

Например, складскими погрузчиками в Осаке, (Япония) протестирован костюм Panasonic (разработан ActiveLink). Он весит чуть более 13 фунтов и крепится к спине, бедрам и ступням, что позволяет пользователю переносить 33 фунта дополнительной нагрузки. Костюм включает в себя легкий карбоновый мотор; датчики активируют двигатель, когда пользователь поднимает или переносит предмет. На заводах Ford началось тестирование экзоскелетов EksoVest, предназначенных для снижения утомляемости и уменьшения травматизма сотрудников на сборочных линиях. EksoVest поднимает и поддерживает руки рабочего при выполнении операций над головой. При этом устройство не имеет батарей и кабелей: когда сотрудник поднимает руки на уровень груди, срабатывают пневматические пружины, приподнимающие и удерживающие руки с инструментом. Audi, тестирует носимое устройство от компании Noonee, которое обеспечивает поддержку спины работникам, которым необходимо выполнять повторяющиеся движения.

Применение *продвинутой робототехники* в СФКС идет по пути создания автоматизированных систем производства и логистики, использования коботов, беспилотных грузовых автомобилей, интеллектуальных складов и складских роботов [136].

Современная робототехника (роботика, robotics) — семейство технологий, продуктов и изделий, которое объединено тремя свойствами. Так, устройство способно: чувствовать (SENSE) окружающий мир (используя

сенсоры); понимать (THINK), обрабатывать получаемую информацию о внешнем мире, создавая и адаптируя модель окружающего мира и своего поведения; действовать (ACT), изменяя окружающий мир в соответствии с моделью своего поведения.

Коллаборативные роботы (кобот) — это робот, предназначенный для прямого взаимодействия с человеком в рамках определенного совместного пространства [137]. Совместные роботы — это интеллектуальные манипуляторы нового поколения, способные трудиться совместно бок о бок с человеком, при этом совершенно безопасно для последнего. Мы получаем синергию сильных сторон робота (высокая скорость и точность при выполнении рутинных операций) и человека (творческое мышление, работа в нестандартных ситуациях). Компания DHL использует роботов Rethink Robotics, которые подходят для работы вместе с людьми, имеют датчики и встроенные камеры. Модели Sawyer и Baxter используются для расфасовки продукции.

Роботы, используемые для упаковки, захвата и размещения объектов, активно применяются для автоматизации работы складов. Современный складской комплекс — это автоматические краны-штабелеры; конвейерные системы; средства транспортировки грузов; подъемники; паллетизаторы, оборудование для упаковки и укладки; сортировочные системы; системы подбора заказов, промышленные роботы-манипуляторы — укладчики паллет.

Полностью автоматизированные склады пока реализовал только Amazon. X5 Retail Group и Университет Иннополис движутся в том же направлении. Погрузчики заменяются на автоматические тележки-шаттлы, которые позволяют существенно увеличить производительность и скорость перемещения грузов по складу. На базе шаттлов строится система комплектации заказов по принципу «товар к человеку» с высокими показателями производительности — до 750 строк в час на одного комплектовщика.

Технологии визуализации данных способствуют упрощению процессов управления. Дополненная реальность (augmented reality, AR) — это технология добавления в трехмерное поле восприятия человека виртуальной информации, которая воспринимается как элементы реальной жизни. Виртуальная реальность (virtual reality, VR) — созданный техническими средствами мир, передаваемый человеку через его ощущения.

Самыми распространенными средствами погружения в VR являются специализированные шлемы и очки (Head Mounted Display, HMD), настольные шлемы, автономные очки виртуальной реальности, информационные перчатки и джойстики, различные ножные платформы

(3DRudder) и беговые дорожки (VirtuixOmni), комнаты виртуальной реальности (Computer-Aided Virtual Environment, CAVE-системы).

Встраиваемая AR – отдельный класс технологий, в котором AR встраивается в самостоятельное отдельное устройство в качестве дополнительного функционального расширения. Например, автомобили, подключенные к Интернету, оснащены проекционными дисплеями (augmented-reality head-up displays) или размещением данных на лобовом стекле автомобиля.

В качестве примеров использования VR и AR назовем решения для промышленного, строительного и инженерного проектирования, продаж жилой недвижимости, обзора производственных объектов, применения тренажеров и симуляторов в обучении сотрудников [138; 139]. Так, например, визуальные подсказки, помогающие работнику выполнять задачи по эксплуатации, ремонту и монтажу (сборке) дают увеличение продуктивности, налаженный рабочий процесс, сокращение рисков, удаленное взаимодействие. Визуализация данных, проектирование, новые формы анализа позволяют экономить ресурсы на выявление недочетов проектирования на ранних этапах без наличия физического прототипа.

Применение VR и AR для визуального поиска предполагает подсказки навигационного характера по запросу пользователя. Расширенный вариант запросов связан с поиском конкретного товара или услуги, объекта с запрашиваемыми характеристиками, людей, отзывов и т. п. Распознавание предполагает предоставление контекстной информации об объекте или человеке, находящемся в поле зрения из открытых источников [139].

Такой функционал AR как экран-зеркало / линза предполагает наложение виртуальных объектов на изображение окружения реального мира для лучшего представления о пространственных характеристиках виртуального объекта. Например, изображения помещения с представленными предметами мебели из каталога дает возможность увидеть выбираемый товар и лучшим образом определить его позицию без траты физических сил.

Визуализация продукции под контекстные задачи для решения инженерных или конструкторских задач. Например, для демонстрации задания для работы в конкретных производственных условиях Volkswagen на заводе в Вольфсбурге использует очки дополненной реальности Google Glasses при комплектации заказов. Рабочие автоматически получают всю необходимую им информацию о местах хранения или номерах деталей. Концерн Fiat Chrysler Automobiles (FCA) применил в своей работе проекционную систему дополненной реальности OPS Solutions. На каждом этапе сборочного процесса рабочие получают наглядную информацию о своем следующем шаге.

3.4. Цифровая трансформация управления потоками в производственно-логистической системе

Рассматривая ПЛС с позиции управленческого аспекта, мы выделяем систему управления потоками ресурсов в целях придания им количественных параметров и качественных характеристик в соответствии с требованиями внешней среды. Она выполняет функции нормирования, планирования, организации, получения обратной связи, учета, анализа, контроля, регулирования по отношению к потокам ресурсов.

Управленческий поток (приказы, указания, задания) должен формироваться на основе достоверных, актуальных данных. Цифровая трансформация управления прежде всего затрагивает методы и инструменты получения, обработки, анализа данных.

Стандарты, регламенты, нормативы, организационно-экономические, конструкторские, технологические документы в цифровой форме хранятся в базах данных. Их доступность должна быть обеспечена в режиме реального времени всем заинтересованным лицам, при этом вопросы безопасности, достоверности и точности остаются на первых местах.

Обеспечить децентрализованный сбор, передачу и хранения данных из внешних источников возможно при помощи Интернета вещей, технологии «блокчейн» и облачных вычислений. Проблему очистки и анализа, моделирования поведения и выстраивания предсказательных моделей берет на себя расширенная аналитика и искусственный интеллект. Они применяются, чтобы данные о переменных и корреляциях, которые не могут дать дашборды («плитки визуализации») и статические отчеты, использовать в прогнозировании и планировании деятельности ПЛС.

Расширенная аналитика (augmented analytics, AA) – это новый класс инструментов на базе машинного обучения и искусственного интеллекта, который может обнаруживать зависимости, недоступные классическим BI-инструментам. Искусственный интеллект (ИИ, англ. artificial intelligence, AI) – комплекс родственных технологий и процессов, таких как обработка текста на естественном языке, машинное обучение, экспертные системы, виртуальные агенты (чат-боты и виртуальные помощники), системы рекомендаций. Практикой ИИ является машинный перевод, распознавание речи, обработка текстов на естественных языках, компьютерное зрение, автоматизация вождения автомобилей. ИИ используется для повышения эффективности разработки новых продук-

тов, оценки поставщиков и анализа требований к запчастям и деталям; исполнения задач, автоматизации сборочных линий, снижения количества ошибок, уменьшения сроков доставки сырья в ходе производства; прогнозирования объемов предоставления услуг поддержки и обслуживания, управления ценообразованием в ходе продвижения; планирования маршрутов транспортных средств, спроса на ресурсы автопарка, повышения качества подготовки персонала при обслуживании.

В основе ИИ лежит глубинное обучение – подмножество машинного обучения, отличающееся использованием моделей нейронных сетей, о которых можно сказать, что они имитируют работу мозга. Любая модель нейронной сети обучается на больших наборах данных, таким образом она обретает некоторые «навыки», но то, как она ими пользуется, для создателей остается неясным, что становится одной из важнейших проблем для многих приложений глубинного обучения. Причина в том, что такая модель работает с образами формально, без какого-либо понимания того, что она делает.

ИИ позволяет изменить операционную модель производства и логистики с реактивной на прогнозируемую, работающую на опережение, что обеспечит более высокие результаты при оптимальных затратах. ИИ выполняет обработку геофизических данных, оптимальное размещение объектов, анализ текстов и интеллектуальную обработку документов, включая автозаполнение атрибутов документов на основе анализа текста, автоформирование маршрута согласования документов, автовыбор исполнителя, выявление ссылок на другие документы в тексте, интеллектуальный поиск и др.

С помощью технологий ИИ можно выявлять скрытые закономерности в поведении потребителей, определять вероятность отклика на то или иное рекламное предложение, выстроить максимально персонализированные коммуникации и повысить эффективность рекламных кампаний. ИИ наиболее востребован в обеспечении безопасности (системы распознавания лиц, СКУД), финансовой сфере (скоринг), маркетинге (рекомендательные системы, чат-боты, предсказание оттока). ИИ используется для повышения качества обслуживания, для сбора и анализа данных о покупателе через цифровой след – совокупность данных о поведении клиента на сайте, в мобильном приложении, в соцсетях в целях лучше понять его и предложить ему наиболее подходящие товары и услуги. В офлайне это могут быть технологии распознавания лиц, идентификации объектов и поведенческого анализа: системы, превентивно угадывающие намерения людей, определяющие пол и возраст

клиента, иную информацию, что позволяет сделать обслуживание более адресным.

Управление ПЛС нового типа должно базироваться на использовании систем управления классов ERP, BI, APS, MES, MRPII, CSRP, CAD/CAE/CAM, PLM, CALS. Автоматизация процессов управления жизненным циклом продукта (PLM/SLM), производственных процессов (АСУТП, MES) и бизнес-процессов (ERP, BI) в ПЛС выйдет на новый уровень – единый замкнутый контур управления. Создание единого информационного пространства идет по пути интеграции и совместного использования уже созданных образцов информационных систем, эффективность которых подтверждена, они удовлетворяют требованиям и обеспечивают обмен информацией как внутри предприятия, так и с контрагентами.

Цифровая ПЛС должна включать в себя:

- базовые системы управления – системы управления предприятием (Enterprise Resource Planning, ERP), системы управления производством (Manufacturing Execution Systems, MES), SCADA-системы, технологии управления жизненным циклом продукта (Product Lifecycle Management, PLM);

- системы проектирования – компьютерное проектирование (Computer-Aided Design, CAD), технологическая подготовка производства (Computer-Aided Manufacturing, CAM), технологии управления данными о продукте (Product Data Management, PDM), системы управления технологическим процессом (автоматизированные системы управления технологическим процессом, АСУ ТП);

- продвинутые системы цифровой экономики – цифровые двойники (Digital Twins), имитационное моделирование, математическое моделирование, компьютерный и суперкомпьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering, CAE, и High Performance Technical Computing, HPTC), компьютерную оптимизацию (Computer-Aided Optimization, CAO), человеко-машинный интерфейс (Human-Machine Interface, HMI).

Система управления информацией предприятия EIM (Enterprise Information Management), которая построена на комбинации ERP (Enterprise resource planning), PLM (Product lifecycle management), MES (Manufacturing execution systems), MDC (Manufacturing Data Collection), позволяет сформировать централизованный цифровой информационный хаб (от англ. центр сосредоточения). Данные используются на всех стадиях жизненного цикла производственного проекта: для цифрового конструирования, в цифровом цеху, цифровой цепи поставок, логистике и цифровой адаптации к потребителю продукта при продажах и сервис-

ном обслуживании. Инженерный анализ (CAE) как отдельное бизнес-направление, виртуальное прототипирование, численный виртуальный эксперимент, FEA и CFD, аддитивное производство для модельных испытаний и прототипирования применяются сегодня на всех ведущих производственных предприятиях, обеспечивая их отраслевое лидерство [140].

Цифровая ПЛС должна обеспечить выход системы управления информацией предприятий (PDM, MES, MDC) на автоматизированные рабочие места (АРМ) производственных участков через программируемые логические контроллеры, исполнительные устройства. Цифровой интерфейс состава изделия на АРМ сборочных участков, интерактивные электронные технические руководства, цифровые ассистенты выполняемых технологических процессов, включающие в себя базы знаний нормативно-справочной информации, становятся инструментами управления на рабочих местах. Управление производственными процессами, анализ их узких мест и ограничений, принятие управленческих решений на основе этого анализа начальник цеха ведет из главной диспетчерской, пульта управления производством, оборудованных дисплеем, на который поступают видеосигналы со всех производственных участков и информация об их производительности.

Сбор и обработку информации о состоянии оборудования и технологических процессов обеспечивают SCADA-системы (Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA). Развитие SCADA-систем и цифровых систем контроля технологических процессов позволяет выйти на мульти-агентские системы (холоническое производство) и далее на гибкие заводы (Shop Floor Agility) (рис. 3.12).

Цифровое управление с использованием RFID-идентификации, контролем передвижения сырья и материалов очень важно для обеспечения эффективности производства. Максимальная автоматизация управления складскими запасами, цифровые системы отбора материальных запасов со световой индикацией («умные» полки, pick-by-light) при подключении к MES позволяют на порядок увеличить производительность при пропорциональном уменьшении затрат на логистику [140].

Развитие управления производством идет по пути разработки универсальных моделей и алгоритмов для различных типов производства, реализации принципа Just in Time (точно в срок), решения задач производства в комплексе с другими подсистемами (снабжение, дистрибуция, кадровое обеспечение), углубления управления вплоть до рабочих мест, гибкого реагирования на спрос, что достигается применением современных интегрированных информационных систем управления.

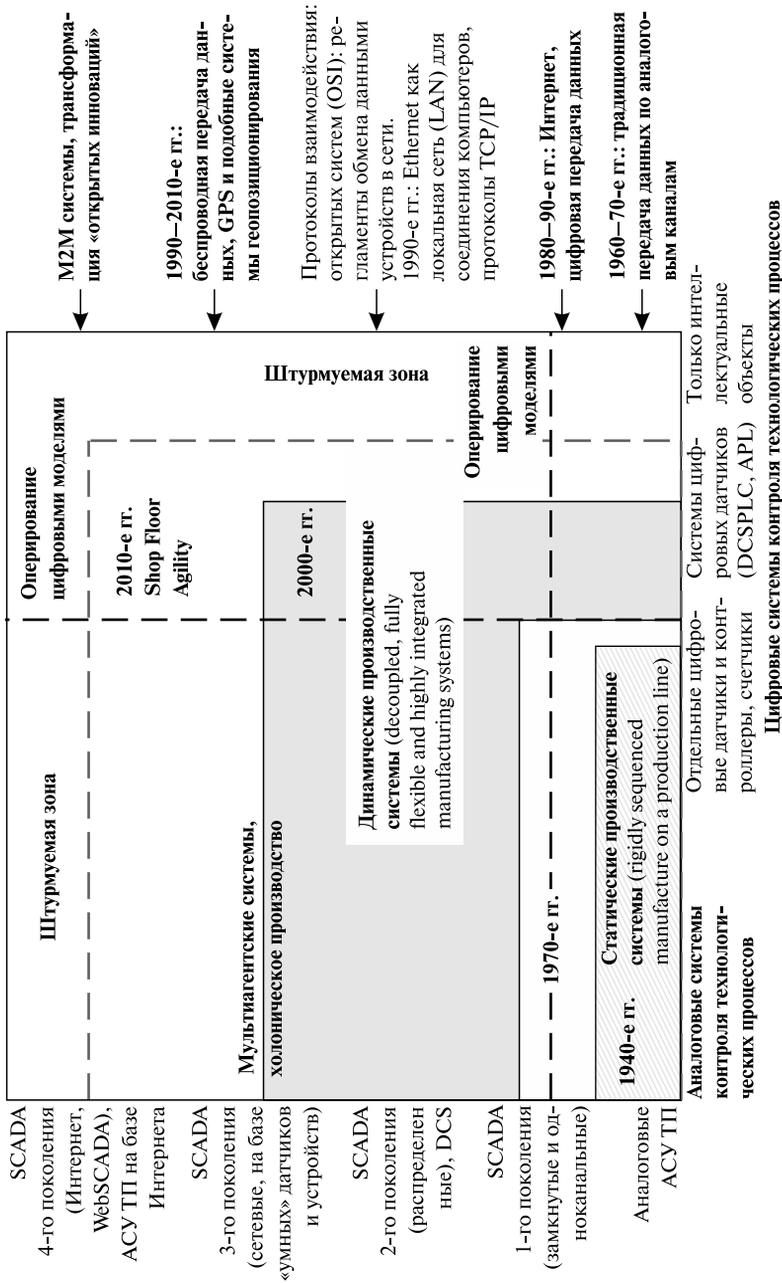


Рис. 3.12. Развитие SCADA и систем контроля технологических процессов

Источники: на основе [115, с. 7].

Система планирования ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning System, ERP) стала развитием концепций MRP I / MRP II. Используемый в ERP-системах программный инструментарий позволяет проводить производственное планирование, моделировать поток заказов и оценивать возможность их реализации в службах и подразделениях предприятия, увязывая его со сбытом. Устанавливается систематическая, измеряемая методология, основанная на обязательном многостадийном планировании и сверстанные планы довольно сложно изменить, поскольку они охватывают все процессы производства и ресурсного обеспечения [142].

С точки зрения точного планирования работ на предприятиях интерес представляют и MES (Manufacturing Execution Systems) [142; 143].

Уровень ERP-систем позволяет реализовать стратегию интеграции логистических (закупки, производство, сбыт), финансовых (дебиторы, кредиторы, банки) и кадровых функций компании, ориентированную на оптимизацию ресурсов предприятия посредством специализированного программного обеспечения.

MES-уровень задает автоматизированную систему управления производственной деятельностью предприятия, позволяющую в режиме реального времени планировать, оптимизировать, контролировать и документировать производственные процессы от формирования заказа до выпуска готовой продукции. Выделяют такие функции MES-систем, как контроль состояния и распределения ресурсов, оперативное/детальное планирование, диспетчеризация производства, управление качеством продукции, производственными процессами, техобслуживанием и ремонтом оборудования, управление документами, сбор и хранение данных, управление персоналом, отслеживание истории продукта, а также анализ производительности [142; 143].

Все эти функции имеют оперативный характер и регламентируют соответствующие требования к той его единице (цеху, участку, подразделению), для которой ведется планирование работ. Основными функциями MES-систем из перечисленных выше являются — оперативно-календарное планирование (детальное планирование) и диспетчеризация производственных процессов в цеху. MES-система нацелена на формирование расписаний работы оборудования и оперативное управление производственными процессами в цеху. MES-система получает объем работ, который либо представлен ERP на этапе объемно-календарного планирования, либо выдается APS-системой в виде допустимого для предприятия план-графика работы цеха, и в дальнейшем сама не только строит более точные расписания для оборудования, но и в оперативном режиме отслеживает их выполнение. В этом смысле цель MES-системы —

не только выполнить заданный объем с указанными сроками выполнения тех или иных заказов, но и сделать это как можно лучше с точки зрения экономических показателей цеха.

В соответствии с современными требованиями MES должна, помимо ядра, включать в себя модули [141; 144] управления логистическими цепочками SCM (ранее – DRP, Distribution Resource Planning); усовершенствованного планирования и составления производственных графиков APS (Advanced Planning and Scheduling); управления взаимоотношениями с клиентами – CRM (ранее назывался модулем автоматизации продаж – Sales Force Automation); управления данными об изделии PDM (Product Data Management); окончательного (детализированного) планирования ресурсов FRP (Finite Resource Planning).

Особенно важным в современных условиях является необходимость создания единого информационного пространства не только на уровне предприятия, но и цепи поставок.

Процессы, как правило, рассредоточены по различным исполнителям, и одной из основных задач является задача координации участников системы. Здесь важна организация сети поставок, которая позволяет обеспечить гибкое и быстрое по времени реагирование и пополнение товара в соответствующих объемах, стилях, цветах и размерах. Для этого традиционная стоимостная цепочка поставок товаров, а также физическая стоимостная цепочка дополняются виртуальной цепочкой поставок. Она объединяет информацию, которая находится в различных частях физической стоимостной цепочки, а именно: дизайн, маркетинг, разработку продукта, сбыт, производство, финансы, взаимосвязь и взаимодействие с поставщиками и потребителями [145].

Поддержка с помощью современных информационных технологий объединения различных производителей для создания товара позволяет создавать *виртуальные и сетевые производства*, где ведущее предприятие формирует субконтракты и через электронные системы обеспечивает их распределение между исполнителями. В таких производствах тесная кооперация между заказчиками и исполнителями требует не только обмена данными технического задания в электронном виде, но совместного использования информации о выпускаемом продукте, его структуре, составе выполняемого проекта в целом – реализации концепции CPC (Collaborative Product Commerce – совместная разработка и использование информации об изделии). Работу всех участников виртуального предприятия в едином информационном пространстве обеспечит PDM-система.

Конкурентная среда предприятий-исполнителей генерирует активные сети для выполнения различных заказов. Необходимо решать задачи

накопления данных по ресурсам участников сети, подбора участников для объединения в активную сеть в соответствие с оптимизационным подходом, контроля уровня цен по всем видам услуг. При совместном решении задач производства в среде виртуального предприятия для решения задач организации поиска и анализа данных в распределенных информационных системах наиболее эффективно и целесообразно использование мультиагентного подхода, являющегося подобластью распределенного искусственного интеллекта (РИИ) [146]. Центральная идея РИИ – кооперативное взаимодействие распределенных интеллектуальных систем. Агентами могут выступать человек, программная подсистема или модуль, которые в рамках заданных функций способны общаться с другими агентами и обладают автономным поведением, являющимся следствием наблюдений, знаний и взаимодействий с другими агентами. Агент как программно и аппаратно реализованная система должен осуществлять целенаправленные действия, проявляя инициативу, функционировать без прямого вмешательства людей или компьютерных средств, взаимодействовать с другими агентами и/или операторами, воспринимать состояние среды (физического мира, пользователя через пользовательский интерфейс, совокупности других агентов, сети Интернет или сразу всех этих компонентов внешней среды) и адекватно реагировать в определенных временных рамках на происходящие изменения.

Основной проблемой создания сетевых и виртуальных производств является обеспечение единообразного описания и интерпретации данных, независимо от места и времени их получения. Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки ее представления должны быть стандартизованными, бизнес-процессы должны выполняться по единой методологии.

Такой методологией должна выступать *концепция управления цепями поставок* (Supply Chain Management, SCM). SCM поддерживает доставку необходимого товара и сервиса в нужное место точно в срок и с оптимальными логистическими издержками за счет интегрировании всех ключевых бизнес-процессов, добавляющих ценность для потребителей, начиная от конечного пользователя и охватывая всех поставщиков товаров, услуг и информации [147; 148].

Стандарт «Планирование ресурсов, синхронизированное с потребителями» (Customer Synchronized Resource Planning, CSRP) [141; 144] охватывает взаимодействие предприятия с клиентами в рамках полного жизненного цикла изделия: от его проектирования с учетом требований заказчика до гарантийного и сервисного обслуживания после продажи. Задача CSRP – синхронизировать покупателя с внутренним планированием

и производством. CSRP устанавливает методологию ведения бизнеса, основанную на текущей информации о покупателе и сдвигает фокус предприятия с планирования от потребностей производства к планированию от заказов покупателей. Деятельность по производственному планированию не просто расширяется, а удаляется и заменяется запросами покупателей, переданными из подразделений организации, ориентированных на работу с покупателями.

Методология CSRP предоставляет действенные методы и приложения для создания продукции, модифицируемой под конкретного покупателя. Основными механизмами этого технологического решения является наличие модуля, называемого конфигуратором продукции (Product Configurator), и расширенного регулируемого управления производственными графиками в условиях ограниченных мощностей и временных интервалов (Advanced Planning and Scheduling, APS) [149].

В конфигуратор закладываются не только бизнес-логика и правила формирования спецификаций заказа, но и состав оборудования и возможные технологические маршруты в зависимости от различных условий. Все операции в зависимости от формирования определенного технологического маршрута имеют несколько вариантов времени и стоимости выполнения и переналадки оборудования. Конфигуратор позволяет оперативно и точно оценить стоимость заказа на конкретный товар для конкретного потребителя с учетом не только отдельных опций, но и особенностей разработанного технологического процесса для заказа. Модуль позволяет запустить продукт в производство немедленно после завершения процесса конфигурирования, согласования спецификации и цены с заказчиком.

Система планирования нового поколения – APS создавалась для решения задач автоматизации SCM. Причем этот функционал APS, реализуемый за счет возможности планирования всех работ во времени с учетом загрузки мощностей, имеет двойное назначение – он реализуется, как для предприятия, выступающего объектом всей цепочки на динамичном рынке товаров, так и для объектов самого предприятия: цехов, участков и подразделений.

Реализация CSRP-подхода требует перехода к созданию и модификации производственных планов непосредственно после формирования каждой новой спецификации, что не может быть реализовано с помощью стандартных систем MRP/ERP. Для реализации моментальной модификации производственных планов в методологии CSRP конфигуратор продукции напрямую связан с модулем расширенного планирования и диспетчерского управления (ASP-модуль), который использует принципиально новый алгоритм для расчета и оптимизации производственных графиков и оптимальной загрузки оборудования. В отличие от

методологии, основанной на стандарте MRP II, в которой расчет согласованных производственных графиков осуществляется в режиме офлайн, методология CSRP на базе конфигуратора и модуля ASP позволяет рассчитать несколько вариантов производственного графика в режиме онлайн в момент принятия заказа с оценкой возможных затрат на конкретные ресурсы и переналадку оборудования.

Возможности планирования в APS расширены и усовершенствованы относительно стандарта MRPII. APS-системы не отвечают за финансы, закупки, документооборот и другие транзакционные функции ERP, но ведущие производители ERP-систем (People Soft, SAP, Oracle, SSA Global, JD Edwards, Marcam и др.) среагировали достаточно быстро и выразили желание совместного использования своих решений с продуктами APS. Постепенно это сотрудничество переросло в естественную потребность интеграции на уровне ядра планирования ERP, которое может быть заменено APS-системой [142].

Следует согласиться с мнением А. Д. Молоковича и П. В. Божанова, что «разные автоматизированные информационные системы имеют различные организационные формы и структуры исходных и результирующих данных. В ряде случаев автоматизация логистических процессов охватывает не все этапы жизненного цикла логистической системы, не анализируются технологии сбора и обработки исходных данных, а переход на новые интеллектуальные информационные технологии не учитывает вспомогательные системы, приводя к автоматизации непроизводительного труда» [150, с. 148].

Таким образом, цифровая трансформация подсистемы управления потоками нацелена на создание единого информационного пространства не только на уровне предприятия, но и цепи поставок, а планирование производства и всей деятельности переопределяется и становится планированием заказов покупателей для организации динамичного производства.

3.5. Цифровая трансформация подсистем производственно-логистической системы на уровне предприятия

3.5.1. Подсистема продаж и сопровождения продукции

Процессы продажи и последующей поддержки функционирования товара у покупателя включают в себя формирование спроса и стимулирование сбыта, торговые операции, коммуникацию с клиентом в ходе

продажи и послепродажного обслуживания, доставку товаров к месту продажи/потребления. Цифровая трансформация подсистемы призвана решить следующие основные задачи: автоматизация отслеживания и сбора информации об актуальных продажах в магазинах; идентификация товаров и покупателей, в том числе через штрихкодирование, QR-коды, распознавание лиц; обеспечение быстрой передачи достоверной информации всем участникам цепи поставок; объединенная разработка и массовая кастомизация продукта; совместное планирование движения товаров в цепи поставок, управление запасами, складами и перевозками; организация послепродажного сопровождения, сервиса, управления возвратами.

Достижение желаемых результатов трансформации подсистемы возможно путем комплексного использования инструментов цифровых технологий, систематизированных в табл. 3.2.

Анализ публикаций [145; 151; 153; 154] позволил выделить ряд цифровых технологий для осуществления коммуникаций, сбора информации и кастомизации и персонализации товара.

Технологии коммуникации с клиентами: мультиканальность, голосовое управление, поиск по изображению, помощники искусственного интеллекта и чат-боты. В тренде развитие систем голосовой коммуникации, управляемые голосом сервисы (заказ товаров, контроль его статуса). Покупатели пользуются смартфонами, планшетами, экранами мониторов, а в ближайшем будущем это могут быть и экран телевизоров и VR-устройства для поиска продуктов и сервисов, сравнения цен, просмотра отзывов. В ритейл-магазинах технология маяка (beacon) в комбинации с персонализированным контентом и ретаргетинговой кампанией может привести покупателя с десктопа на смартфон, а затем в офлайн-магазин — для совершения покупки.

Технологии сбора информации применяются для того, чтобы персонализировать предложение или увеличить эффект от программы лояльности. Ведется сбор информации о клиентах — их демографических данных, уровне дохода, частоте посещения точек, предпочтениях. Такими технологиями являются технологии видеозрения, распознавания лиц, beacon-маяков, сбора данных Wi-Fi-детектором [154].

Использование beacon-маяков в магазинах помогает предупредить покупателя о скидках и купонах, а также найти товары в магазине. Технология геофенсинга (геозон) работает как сервис на основе определения местоположения за счет данных GPS, RFID, Wi-Fi или сотовой связи, запуская предварительно запрограммированное действие. Для этого клиенту с мобильным устройством или товаром с RFID-меткой нужно войти или выйти из виртуальной границы геозоны.

Таблица 3.2

Цифровая трансформация процессов подсистемы продаж и сопровождения продукции

		Технологии и инструменты цифровой трансформации			
Желаемый результат	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	моделирование, планирование, координация	
Оперативный мониторинг движения товаров и услуг	IoT, сенсоры и датчики, компьютерное зрение, дроны	Технологии определения местонахождения, носимые устройства	Централизация данных и виртуализация	Облачные технологии и сервисы	
Устранение сбоев в цепях поставок	IoT, сенсоры и датчики, дроны	Технологии определения местонахождения	Облачные сервисы, расширенная аналитика, искусственный интеллект	Платформы e-SCM, e-commerce, CSRP-система	
Сокращение запасов, надежные поставки, гибкое реагирование в цепи поставок	IoT, сенсоры и датчики, компьютерное зрение	Графические интерфейсы нового типа	Облачные сервисы, расширенная аналитика, обработка больших данных	Совместное планирование системы ERP, APS, MES, DDMRP, CSRP	
Опережающее реагирование на потребности в ремонтах и ТО, предсказуемость эксплуатации товара	IoT, сенсоры и датчики	Мобильные устройства	Генерация и обработка больших данных	Цифровые тени, облачные технологии и сервисы, PLM-система	
Персонализация предложения, персональные рекомендации, дистанционный заказ и оплата	IoT, сенсоры и датчики, компьютерное зрение	Технологии аутентификации, графические интерфейсы нового типа	Расширенная аналитика, искусственный интеллект	Автоматизированные электронные закупки	

Желаемый результат	Технологии и инструменты цифровой трансформации				моделирование, планирование, координация
	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	технологии хранения и обработки данных	
Улучшение клиентского опыта, демонстрация отсутствующего товара, экономия торговых и складских площадей	IoT, компьютерное зрение	Мобильные устройства, расширенная и виртуальная реальность	Автоматизация обработки знаний, искусственный интеллект	Оmnikanальные решения фулфилмента	
Точный подбор товара (размеры, цвета), эффект личного присутствия при удаленном осмотре	IoT, компьютерное зрение	Носимые устройства (wearables), дополненная и виртуальная реальность	Централизация данных и виртуализация, искусственный интеллект	Цифровые двойники и тени, PLM-система	
3D-визуализация товара, виртуального проекта или прототипа	IoT, аддитивные технологии	Графические интерфейсы нового типа, дополненная и виртуальная реальность	Централизация данных и виртуализация	Системы управления CAD/CAE/CAM, PLM	
Предиктивное предложение, точность удовлетворения спроса	IoT, компьютерное зрение	Технологии аутентификации	Расширенная аналитика, обработка больших данных	Цифровые двойники и тени, PLM-система	

Источники: разработано автором.

При использовании Wi-Fi-детектора, собирающего информацию о потребителях, которые подключаются к Интернету в торговой точке, можно оценить количество уникальных покупателей, время шопинга, скорость прохода, сравнить данные с предыдущими периодами, определить наиболее посещаемые зоны и маршруты трафика. Можно также собирать данные о возрасте, поле, посещаемых сайтах и поставщиках устройств.

Анализ посетителей на основе технологии видеозрения позволит сформировать точный портрет целевой аудитории, выявить ее демографические особенности и степень вовлеченности, определить точки с недостаточным уровнем конверсии посетителей в покупателей, накапливать статистические данные в режиме онлайн и сохранять историю посещаемости по каждой точке за определенный период времени.

Технологии кастомизации и персонализации товара: «виртуальные примерочные», «умное электронное зеркало», технологии дополненной и виртуальной реальности.

Интернет-магазины активно используют цифровой функционал: автоматизацию кросс-сейл продаж; показ коллекций в формате total look с возможностью просмотра сочетаний образов; подбор аксессуаров и фильтры по стилю в дополнение к типовым фильтрам по цене и свойствам товара.

Технология «*виртуальные примерочные*» позволяет увидеть на экране планшета или телефона, как понравившееся изделие сидит на фигуре, подходит ли оно, и на основании полученной информации принять взвешенное решение о покупке. Технология «*умное электронное зеркало*» в физических магазинах позволяет менять модель, ее цвет, элементы одежды, чтобы рассмотреть ее с разных сторон. Активно разрабатываются цифровые решения, которые могли бы позволить потенциальным покупателям точнее подбирать одежду, подходящую им не только по размеру, но и по особенностям фигуры. Предлагаются программные решения, позволяющие производить анализ соответствующих размерных данных покупателя и рекомендовать ему необходимый размер одежды.

Визуализация товара перед покупкой при помощи технологии дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности становится все более популярной [145]. Потенциальному покупателю демонстрируется цифровой двойник выпускаемого продукта посредством его 3D-модели в очках виртуальной реальности. Приложение AR позволяет потенциальным покупателям примерить обувь или проецирует изображение одежды, давая возможность выбрать дополнительные размеры и цвета через

смартфон, или представить, как товары будут смотреться дома или в офисе в 3D-формате и в реальном размере.

Сервис с помощью дополненной реальности. С помощью AR сервис-инженеры, обслуживающие на базе математической модели с предиктивной аналитикой технику, могут осуществлять «точный» ремонт в полном соответствии со всеми инструкциями и актуальным состоянием именно запросившего обслуживание техники.

3.5.2. Подсистема проектирования и разработки продукции

Процессы подсистемы проектирования и разработки продукции нацелены на создание новых видов продукции и осуществление подготовки их производства. Проектирование и разработка продукции осуществляется в рамках работ по созданию и освоению новых товаров (СОНТ) (рис. 3.13).

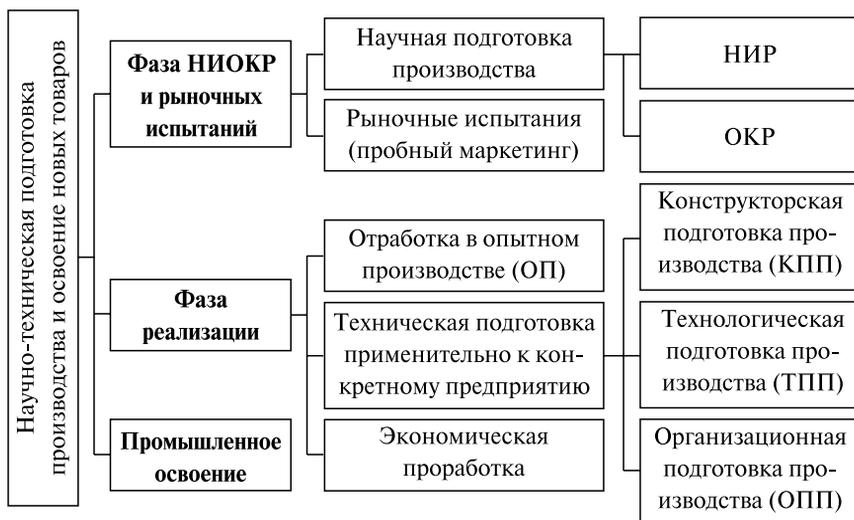


Рис. 3.13. Комплекс работ по созданию и освоению новых товаров

Источник: [22].

Достижение желаемых результатов трансформации подсистемы проектирования и разработки продукции возможно путем комплексного использования инструментов цифровых технологий, систематизированных в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Цифровая трансформация процессов подсистемы проектирования и разработки продукции

Желаемый результат	Технологии и инструменты цифровой трансформации				моделирование, планирование, координация
	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	технологии хранения и обработки данных	
Совместная работа над проектом, сокращение времени принятия проектных решений	IoT	Графические интерфейсы нового типа	Облачные сервисы SaaS «Виртуальное конструкторское бюро»	Облачные сервисы SaaS «Виртуальное конструкторское бюро»	Совместное использование CAD/CAE/SAM, PLM, PDM
Тиражирование решений, быстрое прототипирование, снижение затрат на доработки	IoT	Графические интерфейсы нового типа	Централизация данных, расширенная аналитика, обработка больших данных	Централизация данных, расширенная аналитика, обработка больших данных	Цифровые двойники и тени, PLM-система
Персонализированная продукция, кастомизация и оптимизация дизайна изделий	IoT, сенсоры и датчики	Графические интерфейсы нового типа	Обработка больших данных, облачные и туманные вычисления	Обработка больших данных, облачные и туманные вычисления	Цифровые двойники и тени, PLM-система
Управление безопасностью хранящихся данных на основе ролевой модели доступа, доступ к сервису по необходимости	IoT, сенсоры и датчики	Технологии аутентификации	Облачные сервисы SaaS «Виртуальное конструкторское бюро»	Облачные сервисы SaaS «Виртуальное конструкторское бюро»	Единая информационная среда (ЕИС) на базе PDM-системы
Виртуальная проверка проектирования изделия, его сборки и взаимной стыкуемости элементов; создание полноразмерных прототипов крупных объектов	IoT, 3D-сканеры	MR смешанная / объемная реальность (Mixed / merged reality)	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика, обработка больших данных (Big Data)	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика, обработка больших данных (Big Data)	CAD/CAE/CAM, PLM, PDM
Моделирование поведения изделия в режиме реального времени с учетом реальных размеров	IoT	Комнаты VR, панорамные системы	Расширенная аналитика, генерация и обработка больших данных	Расширенная аналитика, генерация и обработка больших данных	CAD/CAE/CAM

Железный результат	Технологии и инструменты цифровой трансформации				моделирование, планирование, координация
	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	единая информационная среда (ЕИС) на базе PDM-системы	
Создание электронного макета изделия, снижение затрат на производство классических макетов	Аддитивные технологии, 3D-сканеры и 3D-принтеры	Комнаты VR, панорамные системы, носимые устройства (wearables): смартфоны, экраны, шлемы, очки, костюм VR	Централизация данных и виртуализация	Единая информационная среда (ЕИС) на базе PDM-системы	
Автоматическое получение состава изделия и генерация настраиваемых спецификаций изделия по данным из САПР	IoT	Графические интерфейсы нового типа	Централизация данных и виртуализация	Интеграция на базе PDM-системы CAD/CAE/CAM и ERP, APS, MES	
Обработка эргономики изделия и процессов, фотореалистичная визуализация	IoT, сенсоры и датчики	Панорамные системы, MR смешанная / объемная реальность (Mixed / merged reality), шлемы, очки VR	Автоматизация обработки знаний, искусственный интеллект	Цифровые двойники	
Уменьшение повторяемого цикла моделирования, ускорение выхода на рынок	IoT	Графические интерфейсы нового типа	Облачные и туманные вычисления	Цифровые двойники и тени, PLM-система	
Интерактивное исследование пространства проектных решений, анализ параметров «а что, если»	IoT	Графические интерфейсы нового типа	Технология Big Data, расширенная аналитика, машинное обучение	Цифровые двойники и тени, PLM-система	

Источники: разработано автором.

Подсистема проектирования и разработки продукции взаимодействует как с клиентами, так и с подсистемами внутри компании, предоставляя возможность проанализировать внутренние бизнес-процессы с позиций ценности продукта для клиента. Соотнесение создаваемой добавленной ценности с потребностями и ожиданиями клиента позволяет, с одной стороны, разрабатывать востребованные рынком продукты. И, с другой стороны, устранять невостребованные свойства и «мнимую» ценность (ценность продукта на взгляд производителя) из продуктов, т. е. ликвидировать потери и снижать издержки [155].

Процесс проектирования и разработок, выполняемый различными подразделениями, должен быть тщательно скоординирован и увязан во времени. Задача – оптимизировать сроки, затраты и повысить качество – касается каждого из этапов проектирования, изготовления опытных образцов, испытания, доработки по результатам испытаний, подготовки серийного производства.

Для решения задачи оптимизации работ по СОНТ необходимо использовать технологию CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла). CALS позволяет работать в едином информационном пространстве и охватывать весь жизненный цикл изделия с момента его зарождения в сфере НИОКР, через весь производственный и сервисный цикл до момента утилизации.

Технологии, стандарты и программно-технические средства CALS обеспечивают эффективный и экономичный обмен электронными данными и безбумажными электронными документами, предоставляя возможности:

- параллельного выполнения сложных проектов несколькими рабочими группами (параллельный инжиниринг), что существенно сокращает время разработок;
- координации работы участвующих в жизненном цикле продукции предприятий, расширения и совершенствования кооперационных связей;
- сокращения количества ошибок и переделок;
- распространения средств и технологий информационной поддержки на послепродажные стадии жизненного цикла при помощи такого компонента CALS, как средства PDM (Product Data Management – управление данными об изделии).

3.5.3. Подсистема технической подготовки производства

Процессы подсистемы технической подготовки производства нацелены на осуществление конструкторской, технологической и органи-

зационно-экономической подготовки производства. Цепочка «НИР – НИОКР – освоение – производство» должны формировать систему и обеспечивать непрерывный процесс параллельного внедрения множества новшеств.

Использование современного программного обеспечения по подготовке производства (CAD/CAM/CAE/PDM) решает задачи четкого сочетания всех многообразных процессов подготовки производства, рационального соединения личных и вещественных элементов процесса создания новой техники, определения экономических отношений между участниками работ по подготовке производства.

Достижение желаемых результатов трансформации подсистемы проектирования и разработки продукции возможно путем комплексного использования инструментов цифровых технологий, отраженных в табл. 3.4.

Эффективное управление и координация различных задач возможны только с помощью систем «сквозного» проектирования CAD/CAM/CAE систем [156]:

- CAD (computer-aided design/drafting) – средства автоматизированного проектирования, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации;

- CAE (computer-aided engineering) – средства автоматизации инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляющие динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий;

- CAM (computer-aided manufacturing) – средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивающие автоматизацию программирования и управления оборудования с ЧПУ или ГАПС (гибких автоматизированных производственных систем).

С помощью CAD-средств создается геометрическая модель изделия, используемая в качестве входных данных в системах CAM, на основе которой в системах CAE формируется требуемая для инженерного анализа модель исследуемого процесса.

Конструкторская подготовка производства позволяет получить цифровые модели, комплекты чертежей и данные, которые должны быть в единой системе хранения и доступны в качестве базовой входной информации для подготовки технологических решений для производства изделия. Вся информация накапливается в PDM-системе позволяет CAM-системе решать ее задачи. Производственные данные (Product Manufacturing Information, PMI) могут быть получены как из 3D-моделей,

Таблица 3.4

Цифровая трансформация процессов подсистемы технической подготовки производства

Желаемый результат	Технологии и инструменты цифровой трансформации			
	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	моделирование, планирование, координация
Совместная работа над конструкторскими, технологическими решениями	IoT, большие вычислительные мощности	Графические интерфейсы нового типа	Облачные сервисы SaaS, централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика	Совместное использование CAD/CAE/CAM, PLM, PDM
Создание электронных геометрических, структурных аналитических и конечных элементов моделей, выделенных посредством САПР и сохраненных в PDM-системе	IoT, большие вычислительные мощности	Графические интерфейсы нового типа, носимые устройства (wearables): смартфоны, экраны, шлемы, очки, костюм VR	Централизация данных и виртуализация, генерация и обработка больших данных, облачные и туманные вычисления	Интеграция CAD/CAE/CAM на базе PDM-системы. Облачные технологии и сервисы
Создание электронных макетов изделия, включая конструкторский, технологический, функциональный, эксплуатационный	IoT, большие вычислительные мощности	Графические интерфейсы нового типа	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика, генерация и обработка больших данных	Интеграция CAD/CAE/CAM на базе PDM-системы. Облачные технологии и сервисы
Создание аннотированной модели и связанных с ней элементов данных, определяющих изделие, которые могут эффективно использоваться без чертежа	IoT, большие вычислительные мощности	Графические интерфейсы нового типа	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика	Модельно-ориентированное проектирование (МОП), 3D-модели

Желаемый результат	Технологии и инструменты цифровой трансформации			
	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	моделирование, планирование, координация
Анализ конструкции. Проведение структурорских расчетов. Анализ усталости материала, температурный анализ, анализ реакции конструкции на вибрационные нагрузки и ударные нагрузки, на предмет коллизий	IoT, большие вычислительные мощности	Графические интерфейсы нового типа	Программные продукты, реализующие метод конечных элементов, методы анализа, облачные и туманные вычисления	Встроенный в САПР респатель и инструменты проверки. Облачные технологии и сервисы
Создание интерактивных электронных технических руководств, документов по эксплуатации и ремонту изделия	IoT	Графические интерфейсы нового типа	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика	Интеграция CAD/CAE/SAM на базе PDM-системы и систем управление ресурсами (EAM, TOiP)
Сокращение сроков формирования необходимой технологической документации	IoT	Комнаты VR, панорамные системы	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика	3D-модели, интеграция CAD/CAE/SAM на базе PDM-системы
Исключение необходимости выпуска твердых копий конструкторско-технологической документации	IoT	Графические интерфейсы нового типа	Технология электронных цифровых подписей	Интеграция CAD/CAE/SAM на базе PDM-системы, облачные технологии и сервисы
Подготовка управляющих программ для всего станочного парка ЧПУ-оборудования на предприятии	IoT, схемы Machine-to-Machine и Systems-to-Systems	—	Централизация данных, генерация и обработка больших данных	Интеграция CAD/CAE/SAM на базе PDM-системы и систем ERP, APS, MES

Источники: разработано автором.

так и чертежей. Электронная модель должна обладать аннотативной информацией, которая показывает, например, с каким качеством обработаны поверхности, каковы допустимые отклонения форм от базы, шероховатость и вид обработки.

Размещение информации, необходимой для изготовления изделия, непосредственно в 3D-модели позволит сократить сроки формирования необходимой технологической документации, время процедур технического контроля благодаря интеграции систем класса CAI (контрольно-измерительные системы) в процесс модельно-ориентированного проектирования. PMI-данные из 3D-моделей подлежат автоматизации и могут передаваться в САМ-систему, где принимаются решения о технологии обработки в зависимости от требований конкретного заказа.

Проработка вопросов технологий изготовления изделия начинается еще на этапе концептуального проектирования. А за счет визуализации внешнего вида в 3D-модели с наложением габаритных и точностных данных технологи определяют технологическую структуру изделия и разрабатывают технологию. Это может быть прямое изготовление методом механической обработки, получение изделия методом отливки, штамповки, аддитивных технологий или гибридный подход, когда на одном и том же станке выполняются и послойный синтез (3D-печать), и механическая обработка резанием.

На основе концептуального решения о принимаемой технологии проектируется технологическая оснастка (штамповая оснастка, пресс-формы, дополнительная оснастка для механической обработки и т. д.), создается и верифицируется цифровая модель технологической оснастки. Доскональная проработка технологии изготовления изделия и оснастки предусматривает выбор наиболее технологичного решения. В зависимости от вида применяемой технологии и типа обрабатываемого материала подбираются оборудование и инструменты, определяются оптимальные режимы обработки, идет подготовка управляющих программ для всего станочного парка ЧПУ-оборудования на предприятии.

Если необходимое оборудование на предприятии отсутствует, то определяется возможность изготовления изделия на контрактной основе другим предприятием. Использование преимуществ контрактного производства обеспечивается именно возможностями современной САМ-системы [157]:

- импорт цифровых моделей в любых доступных форматах без потери качества;
- взаимодействие с участниками процесса подготовки производства как через PDM-систему, так и с использованием облачных технологий;

- генерация гарантированно незарезающих управляющих программ;
- генерация управляющих программ по триангулярным и полигональным моделям;
- распознавание стандартных элементов форм в цифровой модели для автоматизации создания управляющих программ по изделиям с типовой геометрией (отверстия, пазы, бобышки, фаски и т. д.);
- возможность программирования роботизированных манипуляторов с количеством степеней свободы более пяти для механической обработки, контроля качества, нанесения покрытий;
- возможность реализации аддитивных технологий обработки в рамках инновационного оборудования;
- поддержка интеграции САМ-системы с библиотеками производителей инструментов.

Взаимосвязь между CAD/CAM-системами и оборудованием идет через транслятор импорта цифровых моделей, который обеспечивает передачу цифровой модели в САМ-среду, в том числе и в 3D-формате. Транслятором из языка САМ-системы в язык конкретного станка с ЧПУ служит постпроцессор. Он пишется под конкретный станок с учетом его кинематической схемы, системы ЧПУ, а также индивидуальных кодов и циклов, не изменяет траекторию, созданную САМ-системой, поддерживает выбранные заказчиком циклы и является открытой системой, позволяющей вносить изменения и самостоятельно создавать новые постпроцессоры.

3.5.4. Подсистема основного производства

Подсистема основного производства включает в себя процессы изготовления изделий. Цифровые технологии влияют и изменяют все сквозные производственные процессы и, как результат, преобразовывают предприятия в Умные фабрики.

Возможности цифровых технологий для развития процессов, осуществляемых в рамках основного производства, систематизированы в табл. 3.5.

Производство в условиях цифровой экономики имеет три основных признака:

- автоматизацию и робототизацию рабочих мест и производственного оборудования;
- интеграцию современных систем проектирования и подготовки производства (CAD/CAM/CAE/PDM), управления производством (ERP, MES) и управление ресурсами (EAM, ToиP);

Таблица 3.5

Цифровая трансформация процессов подсистемы основного производства

Желаемый результат	Технологии и инструменты цифровой трансформации			
	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	моделирование, планирование, координация
Контроль загрузки оборудования, сокращение простоев, повышение скорости переналадки	IoT, индикаторы, сенсоры, RFID-метки	Графические интерфейсы нового типа	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика, обработка больших данных	ERP, APS, MES
Перераспределение работ на свободные мощности в распределенном производстве	IoT, мобильная и спутниковая связь, межмашинное взаимодействие	Графические интерфейсы нового типа, технологии определения местонахождения	Облачные сервисы для работы по модели Maas	Цифровые платформы и агрегаторы, PLM-системы
Изготовление деталей, близких к заданной форме	Аддитивное производство, гибридное производство	Графические интерфейсы нового типа	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика, обработка больших данных	Интеграция CAD/CAE/CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы
Дистанционное управление оборудованием, беспилотниками, дронами	IoT, смешанная реальность (Mixed Reality)	Носимые устройства (wearables): смартфоны, экраны, шлемы, очки, костюм VR	—	—
Контроль движения робота, снижения брака, простоев	IoT, индикаторы, сенсоры, компьютерное зрение	Технологии аутентификации, графические интерфейсы нового типа, панорамные системы	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика, обработка больших данных	Единая информационная среда (ЕИС) на базе PDM-системы

Желаемый результат	Технологии и инструменты цифровой трансформации				моделирование, планирование, координация
	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	технологии хранения и обработки данных	
Надежность и точность действий, так как инструкции / данные проецируются поверх предмета	ЮТ, смешанная реальность (Mixed Reality), компьютерное зрение	Графические интерфейсы нового типа, экраны, шлемы, очки VR	Централизация данных и виртуализация	Единая информационная среда (ЕИС) на базе PDM-системы	
Бездефектное производство, стабильность повторяемости позиционирования, высокая производительность, точность	Продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие	Технологии определения местонахождения, носимые устройства	Автоматизация обработки знаний, искусственный интеллект	Интеграция CAD/CAE/CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы	
Безопасное производство, выполнение опасных и тяжелых операций	Продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие	Технологии определения местонахождения, носимые устройства	Автоматизация обработки знаний, система обратной связи и самообучения, искусственный интеллект	Интеграция CAD/CAE/CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы	
Сокращение маршрутов движения, сочетание нескольких видов обработки и выполнение всего цикла аппаратными комплексами	Продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие	Технологии определения местонахождения, носимые устройства	Автоматизация обработки знаний, система обратной связи и самообучения, искусственный интеллект	Интеграция CAD/CAE/CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы	
Возможность автоматизировать измерения, высокая точность и скорость измерений	Координатно-измерительные машины, лазерные 3D-сканеры, межмашинное взаимодействие	Графические интерфейсы нового типа	Технологии машинного обучения и искусственного интеллекта, обработка больших данных	Интеграция CAD/CAE/CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы	

Источники: разработано автором.

– создание на промышленном предприятии единого информационного пространства, с помощью которого все автоматизированные системы управления предприятием, а также промышленное оборудование, производственный персонал могут оперативно и своевременно обмениваться информацией.

Автоматизация производства включает в себя комплекс мероприятий, направленных на сокращение числа работающих в целях повышения эффективности производства, качества продукции и улучшения условий труда. Основные направления автоматизации: внедрение полуавтоматических и автоматических станков, станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и обрабатывающих центров, робототехника, автоматизированное производство, гибкие производственные системы.

Робототехника – создание отдельных промышленных роботов и роботизированных объектов и процессов. Промышленные роботы первого поколения (автоматические манипуляторы) работают по заданной «жесткой» программе. Промышленные роботы второго поколения оснащены системами адаптивного управления, представленными различными сенсорными устройствами (техническое зрение, осязательные схваты и т. д.) и программами обработки сенсорной информации. Роботы третьего поколения позволяют выполнять самые сложные функции при замене в производстве человека, поскольку они обладают искусственным интеллектом [158].

«Умные» производственные линии (Intelligent/Smart Production), «умная» робототехника, носимые устройства с встроенными технологиями дополненной/виртуальной реальности (wearable devices with augmented reality/virtual reality capability), гибкие, реконфигурируемые и модульные машины становятся доступны из-за развития технологий и сокращения затрат на производство на этой основе.

Следует отметить, что уровень скорости обработки и сложности роботизированных комплексов выходит за рамки возможностей ручного управления (рис. 3.14).

Принципиальным отличием робототехники является ее широкая универсальность (многофункциональность) и гибкость (мобильность) при переходе на выполнение других, принципиально новых операций без дополнительных затрат. Промышленные роботы имеют преимущество в скорости и точности выполнения однообразных операций, манипулятор может осуществлять такие движения, которые человек не может выполнить физически. Роботы могут образовывать различные организационные структуры. *Роботизированный технологический комплекс* (РТК) – это совокупность единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения, автономно функционирующая

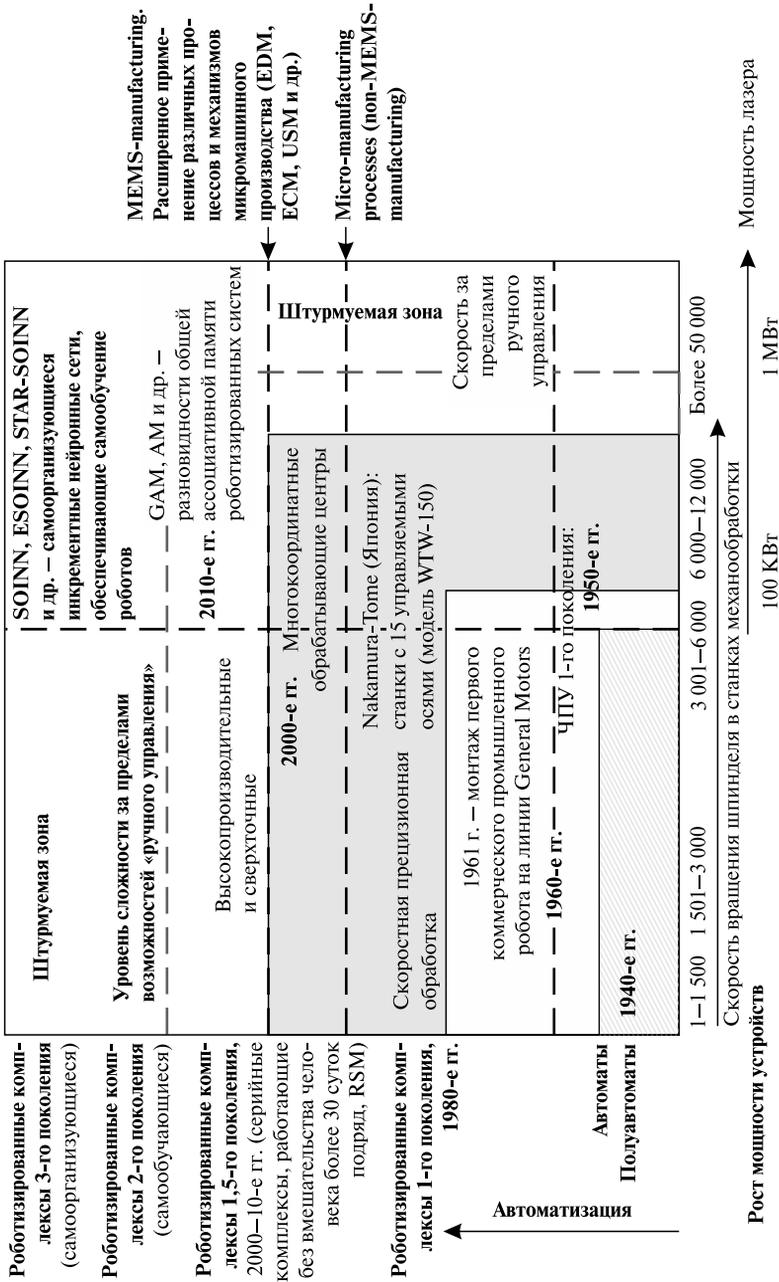


Рис. 3.14. Развитие производств: автоматизация и рост скоростей обработки

Источники: на основе [115].

и осуществляющая многократные циклы. РТК должны иметь автоматизированную переналадку и возможность встраивания в систему более высокого порядка. В качестве технологического оборудования в РТК может быть использован промышленный робот.

Средствами оснащения РТК могут быть устройства накопления, ориентации, поштучной выдачи объектов производства (деталей, заготовок) и другие устройства, обеспечивающие функционирование РТК.

Автоматизированное производство (АП) является высшей формой потока. Оно сочетает основные признаки поточного производства с его автоматизацией. Автоматическая поточная линия (АПЛ) — это система машин-автоматов, размещенных по ходу технологического процесса и объединенных системой управления и автоматическими механизмами и устройствами для решения задач транспортировки, накопления заделов, удаления отходов, изменения ориентации [158].

В состав АПЛ последнего поколения включаются следующие электронные устройства:

- «умные супервизоры» с мониторами на каждой единице оборудования и на центральном пульте управления;

- статистические анализаторы с графопостроителями, предназначенные для статистической обработки разнообразных параметров работы АПЛ (времени работы, простоев и их причины; количества выпускаемой продукции, и уровня брака) каждого параметра изделия на каждой автоматически контролируемой операции; выхода из строя (сбоя) систем каждой единицы оборудования и линии в целом и т. д.;

- диалоговые системы селективной сборки, т. е. подбор параметров относительно грубо обработанных деталей, входящих в сборочную единицу, сочетание которых обеспечивает ее высококачественные параметры.

В АПЛ рабочий выполняет функции наладки, контроля за работой оборудования и загрузки линии заготовками.

Гибкие производственные системы (ГПС) — совокупность оборудования с числовым программным управлением, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик. В ГПС автоматически реализуются следующие функции [159]:

- управление циклом работы оборудования с помощью ЧПУ, ПК;
- загрузка, разгрузка и межоперационное транспортирование закрепленных за ГПС деталей;

- контроль точности и режимов обработки;
- контроль технического состояния станков, инструментов, транспортной системы;
- подналадка и замена инструментов;
- периодическая переналадка станка при переходе на обработку новой детали;
- диспетчирование и управление производством в целом.

Основные достоинства ГПС: существенно снижается производственный цикл изготовления продукции; индивидуальные заказы выполняются в условиях серийного производства; значительно сокращается численность обслуживающего персонала, вплоть до создания «безлюдных» производств.

При модульной структуре производства в ГПС, помимо обрабатывающей составляющей технологического оборудования, входит складской, транспортный, контрольно-измерительный, вспомогательный, диагностический гибкий модуль [159].

Таким образом, гибкая производственная линия или участок – это комплекс из нескольких (двух и более) взаимосвязанных гибких производственных модулей, объединенных комплексной автоматизированной системой управления (КАСУ), автоматизированной транспортно-складской системой (АТСС) и автоматизированной системой инструментального обеспечения (АСИО), синхронизацию работы которых осуществляет (как и управление всем производственным циклом) единая управляющая ЭВМ (или сеть ЭВМ), обеспечивающая автономное функционирование ГАЛ или ГАУ в течение заданного интервала времени в условиях быстрых переходов на обработку любой другой детали (узла) в пределах технических возможностей оборудования; ГАЛ и ГАУ обладают способностью встраиваться в систему более высокого уровня, например ГАЦ [160].

Аналогично гибкий автоматизированный цех (завод) – это производственная система, состоящая из нескольких (двух и более) взаимосоединенных гибких производственных линий или участков, объединенных единой системой управления производством и АТСС (КАСУ) с гибкой автоматизированной инженерной и технической подготовкой производства, обеспечивающей быструю перестройку технологии производства на выпуск новых изделий за счет интеграции систем автоматизированного проектирования объекта производства (САПР К), технологии и средств технологического обеспечения (САПР Т), а также автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), управления технологическими процессами (АСУТП), производством (АСУП) и автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП) [160].

3.5.5. Подсистема обеспечения основного производства

Подсистема обеспечения основного производства решает задачи материально-технического снабжения, кадрового обеспечения, поддержания в рабочем состоянии оборудования, изготовления инструмента и оснастки, переналадки оборудования, перемещения и хранения грузов на предприятии. Цифровая трансформация затрагивает как ресурсную базу указанных процессов, так и их информационную составляющую.

Возможности цифровых технологий для развития процессов, осуществляемых в рамках обслуживания основного производства, систематизированы в табл. 3.6.

ЦТ материально-технического снабжения получила название Закупки 4.0 по аналогии с Индустрией 4.0. Основные задачи трансформации цикла от поиска поставщика до заключения договора (Source-to-Contract, S2C) заключаются в автоматизации поиска и предсказательной аналитике источников поставки, выборе поставщиков на базе анализа совокупных затрат (по всему циклу «закупка – доставка – хранение») или совокупной стоимости владения (ССВ) в режиме реального времени с использованием машинного обучения, а также быстрого согласования договора и всех изменений к нему, через блокчейн и «умные контракты».

ЦТ цикла от закупки до платежа (Procure-to-Pay, P2P) нацелена на автоматическое выполнение рутинных транзакций определения потребности в материалах и пополнение запасов, передачу чат-ботам обработки заказов на закупку, составление заявки на закупку, оплаты счетов, выполнение безопасных платежей. Интересное направление – кибернетическое отслеживание в режиме реального времени деятельности поставщиков – делает возможным проактивное управление поставщиками и связанными с ними рисками, проектирование трендов и анализ закупочных рисков.

Автоматизация закупочных процессов с применением технологии RPA (роботизация бизнес-процессов) базируется на решении RPA, которое будет проверять каждый документ на принадлежность к определенному шаблону, а затем по созданным правилам извлекать из заданного поля нужную информацию.

Технология искусственного интеллекта (ИИ) использует способность компьютерных систем к «самообучению» (машинное обучение – Machine Learning): они не опираются на логические схемы, заданные программистами, а сами выстраивают комплексные механизмы принятия решений или поведения (нейронные сети) на основе накопленных данных и тех задач, что были поставлены программистами.

Цифровая трансформация процессов подсистемы обеспечения основного производства

Желаемый результат	Технологии и инструменты цифровой трансформации			
	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	моделирование, планирование, координация
Оптимальный выбор поставщиков	—	Графические интерфейсы нового типа	Технологии машинного обучения, обработка больших данных, блокчейн	Автоматизация поиска, предсказательная аналитика, блокчейн и «умные контракты»
Автоматическое пополнение запасов материально-сырьевых ресурсов	IoT, индикаторы	Графические интерфейсы нового типа	Технологии машинного обучения и искусственного интеллекта, расширенная аналитика, обработка больших данных, интеллектуальное извлечение контента	Облачные технологии и сервисы, интеграция на базе PDM-системы ERP, APS, MES и программ закупок, технология RPA
Автоматический поиск и найм кадров	—	Графические интерфейсы нового типа	Технологии машинного обучения и искусственного интеллекта, интеллектуальное извлечение контента	Технология RPA, облачные технологии и сервисы, маркетплейсы
Обучение персонала на виртуальных тренажерах	IoT, смешанная реальность (Mixed Reality)	Графические интерфейсы нового типа, экраны, шлемы, очки VR	Централизация данных и виртуализация	Единая информационная среда (EISC) на базе PDM-системы

Организация дистанционной работы	IoT	Технологии определения местонахождения, мобильные устройства	SaaS «Виртуальный офис», рабочий стол как услуга (Desktop as a service)	Облачные технологии и сервисы
Создание персональной и безопасной рабочей среды, управление микроклиматом	IoT, индикаторы, сенсоры	Технологии определения местонахождения, носимые устройства	Алгоритмы машинного обучения, расширенная аналитика, обработка больших данных	Системы распознавания лиц и эмоций, мониторинга состояния, управления доступом и маршрутами
Превентивный контроль оборудования, дистанционная диагностика, предиктивный ремонт	IoT, индикаторы, сенсоры	Графические интерфейсы нового типа	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика, обработка больших данных	PLM-системы, цифровые двойники и тени
Прогнозирование выходов из строя оборудования	Координатно-измерительные машины, лазерные 3D-сканеры	Графические интерфейсы нового типа	Технологии машинного обучения и искусственного интеллекта, расширенная аналитика, обработка больших данных	Цифровые двойники и тени, PLM-система, облачные технологии и сервисы
Быстрое изготовление инструментальной оснастки, производство пресс-форм	Аддитивное производство, гибридное производство	Графические интерфейсы нового типа	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика, обработка больших данных	Интеграция CAD/CAE/CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы
Быстрая переналдка оборудования, гибкость перехода на новые изделия	Продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие	Технологии определения местонахождения, носимые устройства	Автоматизация обработки знаний, система обратной связи и самообучения, искусственный интеллект	Интеграция CAD/CAE/CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы

Технологии и инструменты цифровой трансформации				
Желаемый результат	киберфизическое преобразование	человеко-машинные интерфейсы	технологии хранения и обработки данных	тоделирование, планирование, координация
Автоматическая загрузка и выгрузка обрабатываемых изделий, замена инструмента	Продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие, индикаторы	Технологии определения местонахождения, компьютерное зрение	Централизация данных и виртуализация, расширенная аналитика	Интеграция CAD/CAE/ CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы
Перемещение грузов под управлением интеллектуальных беспилотных транспортных систем	Продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие, IoT, индикаторы, сенсоры	Технологии определения местонахождения, компьютерное зрение	Автоматизация обработки знаний, система обратной связи и самообучения, искусственный интеллект	Интеграция CAD/CAE/ CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы
«Умные» конвейерные системы для перемещения лотков и коробок между рабочими станциями	Продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие, IoT, индикаторы, сенсоры	Технологии определения местонахождения, компьютерное зрение	Автоматизация обработки знаний, система обратной связи и самообучения, искусственный интеллект	Интеграция CAD/CAE/ CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы
Автоматизированная сортировка, подбор и перемещение деталей и комплектов с мест хранения к местам обработки и сборки	Продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие, IoT, индикаторы, сенсоры	Технологии определения местонахождения, графические интерфейсы нового типа	Автоматизация обработки знаний, система обратной связи и самообучения, искусственный интеллект	Интеграция CAD/CAE/ CAM и ERP, APS, MES на базе PDM-системы

Источники: разработано автором.

Идут работы по внедрению блокчейн/смарт-контрактов в закупки. Смарт-контракты – компьютерные алгоритмы на базе технологии распределенных реестров (блокчейн), которые автоматически контролируют запись данных и обеспечивают исполнение обязательств, взятых на себя участниками договора. Верификация смарт-контрактов определяет участников и последовательность их действий, формируя аудиторский след. Участники согласовывают и вносят в цифровой договор условия сделки. Смарт-контракты подключаются к внутренним системам организаций, а также внешним системам (например, сервисам биржевых котировок, системе отслеживания прохождения/перемещения грузов и т. п.). По мере исполнения сторонами обязательств статус смарт-контракта меняется. Само исполнение смарт-контракта происходит при выполнении участниками установленных требований.

ЦТ кадрового обеспечения, обучения персонала становится важнейшей проблемой. Профессор Н. П. Беляцкий указывает, что причиной разрыва между уровнем технологической вооруженности и производительностью является то, что темп внедрения новых технологий опережает скорость цифровой восприимчивости персонала. А неготовность персонала, отсутствие мотивации и низкий уровень цифровой восприимчивости могут быть изменены в ходе непрерывного развития, образования и повышения квалификации сотрудников [161]. ЦТ затрагивает процесс поиска и найма сотрудников, обучения, развития талантов и саму рабочую среду.

ЦТ процесса поиска и найма сотрудников довольно масштабна. Сервисы для найма сотрудников, работающие по модели маркетплейса, распространены, а рутинные процедуры по поиску и отбору резюме под вакансию автоматизируются. Технические решения – это и автоматизация поиска кандидатов по соцсетям и платформам вакансий, и решения RPA, позволяющие выявлять кандидатов, оценивать силу их намерения и прицельно доносить до них информацию о вакансии, и предсказательная аналитика на базе оценки релевантности резюме для конкретных вакансий. Развивается привлечение персонала на основе технологий искусственного интеллекта, назначение VR-собеседований, обзвон соискателей силами роботизированных сервисов, SMS-оповещение кандидатов.

ЦТ процесса обучения и развития талантов. Цифровые технологии улучшают передачу знаний и повышают ситуационную осведомленность работников. На технологиях дополненной и виртуальной реальности создаются тренажеры для обучения в безопасной и контролируемой среде. Реалистичное представление об объекте и пункте управления дает его виртуальная модель, а отработка на ней стандартных рабочих процедур

и действий в критических ситуациях способствует снижению числа ошибок эксплуатации и технического обслуживания.

ЦТ рабочей среды персонала связано с тем, что новое поколение работников – цифровое поколение – ожидает, что рабочая среда будет подстраиваться под их персональные нужды для максимального раскрытия потенциала работника. В связи с современными тенденциями дистанционного взаимодействия и изменения рабочего пространства с учетом эпидемиологической напряженности компания Gartner выделила технологии по организации офисных мест [162]:

- облачная цифровизация рабочей ячейки, когда инструменты личной продуктивности, совместной работы и коммуникации на основе SaaS укомплектованы в единый облачный офисный продукт;

- рабочий стол как услуга (Desktop as a service, DaaS), который предоставляет пользователям возможности виртуального рабочего стола по запросу из удаленного расположения, включая подготовку, установку и управление рабочими нагрузками;

- использование личных устройств в качестве рабочих инструментов (BYOD, Bring Your Own Device, и BYOT, Bring Your Own Thing) для сокращения времени на переключение между техникой и возможности вести деятельность без привязки к месту;

- интеллектуальные рабочие пространства (smart workspace), когда с помощью технологий Industry 4.0 «умным» становится не только виртуальный, но и реальный офис. Smart Workspace предполагает унификацию виртуальных и физических рабочих мест, автоматический мониторинг состояния сотрудника через системы распознавания лиц и эмоций на базе алгоритмов машинного обучения, комплексное и персонализированное управление микроклиматом с использованием IoT-датчиков, личных предпочтений носителя smart-часов, меры социального дистанцирования, связанные с размещением и распределением людей, заполнением помещений, управлением доступом и маршрутами.

ЦТ поддержания в рабочем состоянии оборудования связана с внедрением современного программного обеспечения по управлению ресурсами. В настоящее время существуют специализированные ИТ-решения для эффективного управления техническим обслуживанием и ремонтами оборудования (ТОиРО) [144], а также система управления основными фондами (Enterprise Asset Management System, EAM), основная задача которой – поддержание оборудования в работоспособном состоянии, что достигается с помощью своевременной профилактики и готовности выполнить ремонтные работы по возникшему событию в реальном вре-

мени, не тратя времени на ожидание закупки запасных частей [144]. Цель создания ЕАМ-систем достигается выполнением следующих функций:

- мониторинг состояния и ведение базы данных по оборудованию, событиям, ремонтам, обслуживанию;
- планирование профилактических и ремонтных работ;
- контроль и управление работами технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОиРО), сбор статистики для дальнейшего планирования;
- управление материально-техническим снабжением и складами;
- информационная поддержка НТД и технологических карт ремонтов.

Ядро ЕАМ-системы составляют базы данных, содержащие информацию о состоянии оборудования, времени работы объекта между профилактиками, отработанном им времени, износе оборудования и др., откуда вычисляются и сроки следующей профилактики. Дополнительно базы данных ЕАМ-системы могут включать в себя нормативную и техническую документацию, нужную техническому персоналу для работы; статистические данные о проведенных работах, полезные для планирования таких работ в будущем. На основе мониторинга баз данных планируются профилактические и ремонтные работы, формируются наряды на соответствующие работы по плану или событию, прогнозируются потребности в материально-техническом снабжении и, более того, самостоятельно формируются счета на закупки.

По мере накопления статистической информации, формируемой при решении базовых задач, система позволяет с возрастающей точностью осуществлять стратегическое планирование ремонтов и решать задачи более высокого уровня [163]:

- планировать профилактические работы, исходя из накопленной статистики износа и отказов оборудования, обеспечивая опережающее устранение неисправностей;
- «передвигать» и объединять работы, сокращая время простоев ремонтируемых активов;
- уменьшить складские запасы;
- стратегически планировать работы и закупочную деятельность, сокращая время простоя ресурсов (людей и техники) и добиваясь выгодных ценовых предложений за счет консолидации закупок;
- принимать обоснованные стратегические решения при планировании приобретения и списания активов.

Необходимым условием для организации эффективной эксплуатации промышленного оборудования является использование системы сбора

машинных данных (Machine Data Collection, MDC). Совокупность данных непосредственно с системы ЧПУ и контроллеров оборудования, с датчиков вибродиагностики, теплодиагностики, видеорегистрации, собираемой и обрабатываемой в режиме реального времени, позволяет спрогнозировать неисправность, выявить и устранить причину на ранних стадиях. Что позволяет повысить эффективность обслуживания оборудования и значительно снизить его простои по причине аварийных ремонтов.

ЦТ изготовления инструмента и оснастки, пресс-форм связана с внедрением аддитивных технологий.

Пресс-формы для литья пластмасс под давлением создаются на 3D-принтерах с помощью специальных прочных материалов, а для литья металлов — из порошков, где присутствуют песок, керамика, металлические частицы, кварцевый песок. Чтобы получить модель-шаблон пресс-формы для 3D-принтера, конструктору необходимо создать нужную конфигурацию в программе САД. Применение данных САД-моделей позволяет использовать все богатство детализации и точности практически неограниченной геометрии.

3D-печать позволяет получить такую конфигурацию пресс-формы, в которой создаются каналы сложной конфигурации для конформного охлаждения вблизи поверхности изделия, что уравнивает общую температуру пресс-формы, обеспечивая равномерную усадку после охлаждения, уменьшая деформацию и улучшая выход готовой продукции. 3D-печать пресс-формы исключает дефекты деформации и коробление, связанные с длительным и неравномерным охлаждением, плохим контролем температуры отверждения и кристалличности полимерных материалов, неравномерной усадкой, характерным для традиционного производства по пресс-формам [164].

Использование программного обеспечения для проектирования, оптимизации топологии и FEM для проверки конструкции позволяет делать не только интеллектуальные конформные каналы охлаждения, но и дает возможности для улучшения или изобретения новых функций, интегрированных в формы и инструменты. Технология позволяет производить оснастку сложной геометрической природы (полости и каналы, а также ячеистые структуры, в основном применяемые для охлаждения) с использованием материалов, которые не могут быть обработаны обычными методами, а также изделия с интегрированными функциями (интеграция датчиков, приводы и электрические функции). Кроме того, упрощается и ремонт пресс-форм: сменные стержни могут быть напечатаны в течение нескольких дней.

ЦП переналадки оборудования, операций по погрузке-разгрузке материалов связана с робототехникой.

Промышленный робот обеспечивает не только автоматическую загрузку и выгрузку обрабатываемых изделий, но и замену инструмента в обрабатывающем центре. Роботы с разнообразными захватными устройствами позволяют сократить количество инструментов и обеспечивают гибкость при довольно высокой степени точности и грузоподъемности. Современные роботы могут оснащаться устройством автоматической смены инструмента и смены схватов, а применение системы позиционирования позволяет точно устанавливать инструменты. Для контроля качества применяются системы технического (компьютерного) зрения, позволяющие роботам «видеть» объекты – обнаруживать, распознавать и классифицировать их за счет визуальных подсказок.

ЦТ перемещения и хранения элементов изделий на предприятии связана с системами автоматизации интралогистики, использованием конвейерных систем и систем хранения и сортировки.

Интеллектуальные беспилотные транспортные системы (БТС) включают в себя автономный транспорт и контроллер системы, который управляет всеми транспортными операциями.

Интеллектуальная система управления на основе искусственного интеллекта осуществляет навигацию БТС по специально рассчитанным маршрутам, обеспечивая максимальную эффективность и оптимальную нагрузку, а за счет своей прозрачности и интегрированности с системами управления производством (ERP, APS, MES) радикально преобразуют принципы подачи материалов.

Автоматически управляемый транспорт (Automatic/Automated Guided Vehicle, AGV) – транспортер, погрузочные тележки, вилочные погрузчики и буксиры с электроприводом, предназначенные для перемещения грузов по заданной траектории без участия человека.

Навигация парка беспилотных транспортных тележек может обеспечиваться как датчиками или сложными системами управления, так и системой компьютерного зрения и оптической дорожки, наносимой на пол. Безопасность могут обеспечивать лазерный сканер, видеокамеры и лидары, выполняющие обработку информации дистанционного зондирования.

AGV двигаются по заданной траектории без участия человека, используя наклеенную на пол магнитную ленту и технологию беспроводной локальной сети Wi-Fi. С помощью специальных датчиков тележки анализируют обстановку и могут распознавать препятствия на пути

следования. Оптическая навигация автоматизированных беспилотных машин основана на магнитах, что гарантирует 100 % надежность и безопасность. AGV также могут перемещаться по запланированной траектории, ориентируясь в пространстве благодаря цветным дорожкам, рельсам, лазеру, камере, GPS.

Важно интегрировать БТС в основное производство, в систему «умных» конвейерных и производственных линий, которые представляют собой комплекс, состоящий из четырех основных элементов – механики, электроники, автоматики и интеллектуального программного обеспечения.

«Умный» конвейер – это сервис-ориентированный конвейер, обладающий средствами сбора данных, самостоятельной и децентрализованной выработкой решений в реальном времени, а также роботизированными элементами, Big Data, VR/AR, средствами виртуализации и удовлетворяющий принципам совместимости и модульности. Транспортировочная система, комплекс датчиков, роботизированные инструменты, автоматизированная система управления, сетевая структура образуют систему «умного» конвейера.

Роботы используются для транспортировки деталей между роботизированными станциями точно в срок. Они являются основой автоматизированных складов и автоматизированных складских систем, могут активно использоваться на этапе приемки на конвейере готового продукта и его упаковки. Далее помещенные в индивидуальную упаковку продукты укладываются в ящики, после чего робот-штабелер грузит ящики на поддоны.

Конвейеры используются для погрузки-разгрузки коробок или лотков в местах хранения и упаковочных зонах, высокоскоростные трансферные модули обеспечивают правильную сортировку товаров при движении по конвейеру, подъем и спуск упаковок и коробов с продукцией реализуется при помощи ленточных конвейерных модулей.

Модульный принцип и масштабируемость транспортирующих линий позволяют трансформировать логику работы системы, наращивая длину конвейеров и полностью меняя пути движения грузов согласно требованиям внутренней логистики. В модули интегрированы оптические датчики, которые реализуют принцип «нулевого давления» и, фиксируя наличие товара на линии, приводят в движение только отдельные части (модули) линии, что позволяет сэкономить до 50 % электроэнергии.

Любой новый компонент легко интегрируется в систему по технологии plug&play, обеспечивается функциональная совместимость между

различными объектами конвейерной системы – сборочными станциями, людьми, самими конвейерными линиями. Управляющие компоненты легко интегрируются в систему и программируются с использованием стандартных аппаратных средств, работающих под контролем компонентов, построенных на базе Windows.

ЦТ процессов хранения и комплектации идет по пути составления различных сочетаний «складская система – система управления подбором заказов – конвейерная система – тип грузовой единицы», которые обладают различной скоростью работы. Хотя системы управления подбором и сортировки товара в заказ (СУПС) и системы автоматизации перемещения и сортировки товара в заказ (САПС) чаще всего упоминаются для складов розницы, они могут эффективно использоваться для операций обслуживания основного производства.

Подбор и перемещение к местам сборки необходимых деталей и комплектующих – одно из направлений применения СУПС и САПС в обслуживании производства.

Основными элементами системы становятся конвейерные системы, сортеры, системы механизации ручного подбора и сортировки [165]. Для перемещения палет или коробок, передвижения и сортировки товаров в подвесе (hang sorter) используются конвейерные системы – приводные и неприводные (гравитационные – рольганги), роликовые или ленточные. Сортер (oval sorter, line sorter, slide tray sorter, crossbelt sorter) – устройство, предназначенное для автоматической сортировки товара и распределения его по клиентам. Такими устройствами являются элеваторные системы, вертикальные и горизонтальные лифтовые системы, роботизированные системы набивных стеллажей с «шаттлом».

Для сортировки мелких штучных позиций применяют подбор в специальное отделение на ленточном конвейере (drop-on-belt), в контейнер (pick-to-tote), в специальное отделение на рабочем месте (pick-to-bucket).

Особое внимание уделяется процессам автоматизации подбора требуемых элементов, где подборка может идти по сборочному листу (picking list), по свету (pick-to-light), по голосу (pick-by-voice), с помощью радиотерминала (RF, scan-to-sort и scan-to-pick), с помощью монитора (screen-to-sort).

Система touch-to-sort объединяет в себе гибкость и эргономичность системы RF, Scan-to-Sort и Scan-to-Pick. Это система ручного подбора и сортировки, в которой информация передается на экран сканера или touch-дисплей. Тележки для сборки (Multi Client Picking Cart, МСРС) представляет собой мобильную станцию Put-to-Light (P2L), позволяющую

одновременно обрабатывать несколько заказов. В нее встроен экран типа touch-screen, сканер с собственным экраном и несколько дисплеев P2L. Оператор получает инструкции на экранах коляски и сканера, где указывается, какую операцию ему предстоит выполнить, а дисплеи P2L указывают, куда следует положить товары

Автоматизация складских запасов с помощью роботов-подов использовалась компаниями Amazon и Walgreens для замещения ручного труда машинным в складских операциях. Технология автоматического пополнения запасов на основе системы прогнозирования и перемещение стеллажей к оператору для формирования заказа с помощью специальных устройств («подов») была разработана компанией Kiva Systems и приобретена компанией Amazon в 2012 г., после чего стала эксклюзивно работать для компании Amazon.

Таким образом, для решения определенных задач набор различных цифровых технологий необходимо применять комплексно и системно. Наиболее эффективным будет подход «от результата к технологии», при котором следует определить желаемый результат и подобрать необходимую технологию и вендора для ее внедрения.

Глава 4

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УМНУЮ СЕТЬ ПОСТАВОК

4.1. Динамические Умные сети поставок как результат трансформации производственно- логистической системы группы предприятий

Глобальные тенденции повышения уровня автоматизации и интеллектуализации производства и цепей поставок связывают с концепцией Индустрии 4.0, которая базируется на идее создания полностью автоматизированных производств, где управление всеми процессами осуществляется в реальном масштабе времени и с учетом меняющихся внешних условий. Создание таких предприятий предусматривает вертикальную интеграцию и цифровизацию внутренних процессов, создание гибких и реконфигурируемых производственных систем внутри предприятий.

Горизонтальная интеграция – объединение за рамками предприятия поставщиков, потребителей и всех ключевых партнеров по всей цепочке создания стоимости – получила название «Умные цепи поставок» (Smart Supply Chain). Создание цепей добавленной стоимости на принципиально иных, цифровых подходах, прежде всего новых бизнес-моделях, вызвало необходимость адаптации к цифровому миру цепей поставок. Так, наблюдается переход от представления цепи поставок как традиционно линейной по своей природе системы, где процессы выполняются дискретно последовательно и с учетом обратной связи, к Умной сети поставок (Smart Supply Network, SSN) как более гибкой и адаптивной форме интеграции.

Целью трансформации ПЛС является ее преобразование в динамичную Умную сеть поставок [166]. Цифровая трансформация предусматривает переход взаимодействия всех участников сети на модель, основанную на переносе большинства бизнес-процессов в онлайн, использовании современных электронных каналов связи и способов учета и хранения информации, электронного документооборота, электронной коммерции.

Выбор инструментов цифровой трансформации следует осуществлять исходя из желаемых результатов – преобразование линейной цепи поставок в связанную через цифровое ядро динамичную систему.

Базируясь на публикациях [111; 129; 167; 168] отразим на рис. 4.1 схематично структуру SSN и цифровые технологии, обеспечивающие ее функционирование.

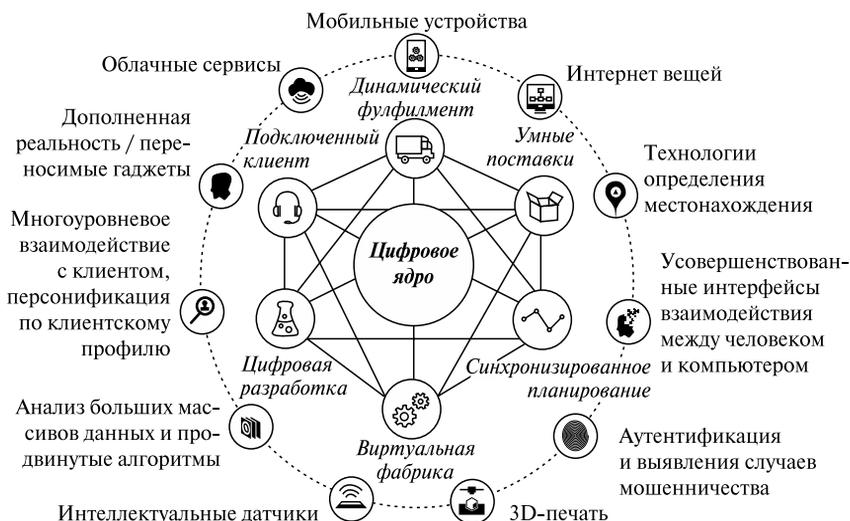


Рис. 4.1. Цифровые технологии в Умной сети поставок

Источник: [169].

Ожидается, что интеграция жизненных циклов продуктов и цифровой инженерной деятельности по всей цепочке создания стоимости продукта и связанной с ней системой производства, сбыта и закупок в совокупности составит цифровую экосистему предприятия и будет выполняться на базе цифровых платформ. Выстраивание SSN связывается со сценариями проникновения цифровых технологий в проектирование как сети поставок (Digital Supply Network Design), так и предприятий (Digital Factory Design) [79; 167; 170].

Концепции расширенных цепей поставок (Extended Supply Chain) и управления жизненным циклом продуктов (Product Lifecycle Management) требуют формирования интегрированного распределенного бизнес-процесса.

Персонал ПЛС получит возможности автоматизированного поиска поставщиков продукции и сервисов, электронных закупок (Automated e-Sourcing), «умных» омниканальных решений фулфилмента для электронной коммерции (Omni-channel Smart Fulfilment Solution), планирования работы предприятия в режиме реального времени (Real-time Factory Scheduling); гибкой автоматизации производства (Flexible Factory Automation); цифровых производственных процессов (Digital Production Processes); цифрового качества продукции (Digital Product Quality) [79; 170].

Координацию звеньев SSN должна обеспечить общая информационная архитектура, которая выполнит стыковку различных IT-технологий для достижения максимального уровня актуальности данных, быстрого реагирования. Это требует наличия сквозного документирования бизнес-процессов на основе стандартов SCOR, ISO и CALS, унификации данных в рамках электронных каталогов, интеграции систем планирования ресурсов предприятия (ERP), управления данными об изделии (PDM), управления событиями в цепях поставок (SCEM), мониторинга цепей поставок (SCMo) [171].

Цифровым ядром, объединяющим элементы Умной сети поставок, является цифровая платформа (ЦП) [172]. Она должна создаваться как *экосистема* — обладающая информационно-технологической инфраструктурой многосторонняя цифровая открытая площадка, объединяющая внешних партнеров, где реализуется принцип «win-win» при выборе пользователями платформы любого исполнителя или получения контракта. Основным функциональным элементом экосистемы ЦП является маркетплейс цифровых сервисов, где представлены специализированные цифровые платформы как площадки для конкурсного отбора звеньев SSN в систему управления потоками и систему осуществления этапов цикла производства.

SSN должна работать как:

- адаптивная система, т. е. автоматически изменять алгоритм своего функционирования и / или свою структуру в целях сохранения или достижения оптимального состояния при изменении внешних условий [171];
- гибкая система, т. е. в режиме реального времени учитывать индивидуальные требования заказчиков, изменения объемов поставок или вносить оперативные изменения в ход выполнения уже запущенных заказов [173];

– клиентоориентированная система, т. е. осуществлять кастомизированные поставки и управлять непосредственным производством исходя из интегрированной из различных источников информации. Это позволит обеспечить гибкость, способность изменять конфигурацию под индивидуальные требования клиентов, ускорить выход новых продуктов на рынок, устойчиво функционировать даже в случае технологических или информационных сбоев и отклонений, сглаживать негативные последствия колебаний спроса.

Адаптивность SSN может быть обеспечена на базе непрерывного информационного обмена актуальными данными, мониторинга оперативных изменений и поддержки принятия решений в случае отклонений в цепи поставок, путем внедрения алгоритмов быстрого реагирования. Трансформация ЦП в адаптивную SSN может идти по двум направлениям [74]:

- внедрение алгоритмов быстрого реагирования на внешние воздействия в действующих структурах;
- повышение структурной гибкости с возможностью создания новых структур – цифровых сетей.

Формирование адаптивной структуры SSN возможно на основе разделения процессов на фиксированную и гибкую части [171]. Часть процессов выполняется заранее определенными звеньями, а часть передается звеньям, выбранным по определенным критериям из ряда альтернатив. Для снижения неопределенности и установления тесных связей формируются долгосрочные стратегические альянсы с первой группой звеньев. Наличие структурно-функционального резерва звеньев SSN делает возможным оперативное реагирование на колебания спроса, изменение требований к продуктам, сбой в процессе исполнения заказов. Снизить риски неопределенности может также избыточность (страховые запасы, резервы мощностей) в организационной, функциональной, информационной и технологической структурах, но она связана с дополнительными издержками, которые необходимо сопоставлять с эффектом от повышения уровня сервиса.

Стратегические решения по ЦТ ПЛС включают в себя:

- создание интегрированного распределенного бизнес-процесса в ПЛС на базе обеспечения надежности работы распределенных звеньев-аутсорсеров и единого информационного пространства на протяжении всего жизненного цикла продукции и единого центра управления в цепях поставок;
- обеспечение клиентоориентированности, омниканальности и гибкости ПЛС путем диверсификации логистических услуг за счет гибкой, ориентированной на клиента разработки новых услуг, повышения качества и уровня сервиса, проактивной коммуникационной политики, а также обеспечение «бесшовной» интегрированной торговли и поставки через все доступные каналы;

– преобразование ПЛС для работы по бизнес-моделям экономики замкнутого цикла через механизмы индивидуализации производства, предоставление продукции во временное пользование, совместного потребления, возврата и переработки.

4.2. Основные тренды трансформации производственно-логистической системы группы предприятий

Проведенные исследования позволяют выделить 7 основных трендов трансформации ПЛС (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Тренды трансформации производственно-логистических систем

Источник: [89].

Рассмотрим сущность трансформационных процессов по каждому направлению.

Создание распределенных самоорганизующихся систем сетевого вида обеспечивается инвестициями:

- в автоматизацию, роботизацию и интеллектуализацию труда;
- управление на базе математических моделей и цифровых данных всеми технологическими объектами и процессами;
- накопление данных, их обработку, хранение, передачу и перенос в цифровые облака;
- подключение технологических объектов и человека к «Интернету всего» (Internet of everything);
- развитие предсказательных систем управления и обслуживания продуктов;
- расширенное управление жизненным циклом продукта.

Формированию гиперсвязанных производств, управляемых из любой точки мира удаленно при помощи мобильных информационных технологий за счет беспроводной сети промышленного Интернета вещей, будет способствовать киберфизическое преобразование ПЛС. Аддитивные технологии, радиочастотная идентификация, сенсоры, чипы, компьютерное зрение, продвинутая робототехника, межмашинное взаимодействие, промышленный Интернет вещей позволяют объединить в сеть географически и организационно разделенные производства.

Производство отходит от централизованной модели к модели дистрибуционной [174]. 3D-печать позволяет переместить производство ближе к конечному потребителю, обеспечить сокращение жизненного цикла продуктов, рост продаж через Интернет и ускорение доставки товаров на рынок, способствует массовой персонализации товаров, так как у покупателей появляется возможность повлиять на дизайн продукта. Появились 3D-магазины, где выбрав по каталогу определенную вещь, можно получить ее прямо себе домой, минуя традиционную цепь доставки. Например, сайт 3dlt.com позволяет мгновенно распечатать различные предметы для интерьера и электронные гаджеты [175].

Прогнозируется, что традиционная цепь доставки в будущем будет сломлена развитием 3D [176]. С появлением небольших и недорогих 3D-принтеров даже в удаленных местах необходимо будет лишь воспользоваться электронной библиотекой проектов, доступной на локальном компьютере. И после этого быстро распечатать деталь. А устаревшие детали можно будет просто отсканировать в 3D и создать заново. Сторонники развития 3D-логистики традиционно выделяют четыре преимущества новой технологии: увеличение скорости производства и одно-

временно сокращение издержек; клиентоориентированность; переход на 3D-печать для компаний будет означать уход от аутсорсинга; снижение влияния на окружающую среду.

Интеграция как стратегия взаимодействия (Collaboration) субъектов бизнеса предусматривает объединение ресурсов, отдельных частей, функций, процессов, компаний цепи поставок в единое целое, построение новых межорганизационных отношений, ведущих к состоянию связанности отдельных звеньев и улучшающих их координацию.

Профессор В. И. Сергеев выделяет следующие основные виды интеграции [177]:

1. Операционная интеграция – объединение отдельных операций в интегрированную систему обеспечения прослеживаемости операций в цепи поставок (трекинг и трейсинг), а также объединение операций контроля и мониторинга логистических операций в рамках комплексного сервиса логистических провайдеров 3PL/4PL уровня и LLP (Lead Logistics Provider).

2. Информационная интеграция. Характеризуется объединением информационно-коммуникационных ресурсов, программного обеспечения, средств телематики и т. п. в разрезе контроля и мониторинга операций в цепях поставок (прежде всего логистических) в системы класса TMS (Transportation Management Systems – системы управления грузоперевозками) и WMS (Warehouse Management Systems – системы управления складом), а затем в соответствующие контуры логистики и SCM корпоративных информационных систем ERP-класса. Далее IT-интеграция развивалась в направлении включения программно-технических модулей контроля и мониторинга ключевых бизнес-процессов в цепях поставок в системы (надстройки) класса SCMo/SCEM/SCM, затем – в системы расширенного планирования (Advanced Planning System, APS) и наконец объединения указанных выше систем и программных продуктов – в облачные информационные платформы класса SCCT (Supply Chain Control Tower).

3. Функциональная интеграция. Состоит в реализации идеологии укрупнения («операция – функция – функционал» либо «процесс – бизнес-процесс – функциональная область логистики»). Операции диагностики, контроля, мониторинга и анализа обычно объединяются в функцию контроллинга и аудита цепей поставок, далее (частично) – в функцию управление рисками, а затем все вместе входят в функционал SCM.

4. Организационная интеграция. Проявляется через различные формы межорганизационного взаимодействия производственных, торговых, транспортно-логистических корпораций – транспортно-логистические кластеры, производственные кластеры, стратегические альянсы,

интегрированные логистические системы корпоративного уровня, виртуальные предприятия.

Основой интеграционных процессов выступает производственная кооперация на основе разделения труда в форме [178]:

- подрядного кооперирования, представляющего собой изготовление предприятием-субподрядчиком по поручению предприятия-заказчика определенного вида продукции (узлы, части, детали и другие комплектующие изделия) либо технологического процесса (по стадиям определенной технологии).

- кооперации на основе разделения производственных программ, включая субподрядные взаимные поставки, совместные научные разработки, обмен технической документацией, ноу-хау и лицензиями.

- организации совместного производства – форма наиболее тесного производственного кооперирования путем объединения технологических, научно-технических, материальных и финансовых ресурсов кооперантов в целях создания нового изделия.

Договоры о кооперации в производстве единого продукта могут заключаться в следующих формах: соглашения о техническом сотрудничестве, договора о создании совместной компании и других договоров (о создании консорциумов, научно-производственном кооперировании и пр.).

Базой интеграционных процессов выступает формирование единого информационного пространства на протяжении всего жизненного цикла продукции – технология управления жизненным циклом изделий (Product Lifecycle Management, PLM). Интегрированное предложение продуктов и услуг по мере использования продукта на разных стадиях его жизненного цикла вызывает необходимость расширенного управления жизненным циклом продукта (PLM). Реализация PLM осуществляется в рамках расширенной цепочки поставок изделия, включая производителей оборудования (ОЕМ), субподрядчиков, поставщиков, партнеров и потребителей.

PLM объединяет в комплексную систему передовые подходы и опорные технологии: управление данными об изделии (PDM), коллективные разработки, визуализацию, цифровое производство, выбор стратегических поставщиков, проверку и управление соответствиями и др.

Вовлечение потребителя в цепочки формирования ценности потребовало усиления процессов кастомизации. Он становится элементом системы создания новых товаров с высокой потребительской ценностью. Использование технологий цифрового моделирования и проектирования, создание цифровых двойников продукта и процессов его производства базируется на данных от множества потребителей и позволит учесть их потребности. Цифровое взаимодействие ритейла и производства на базе

таких технологий, как Big Data (большие данные), IoT, облачные сервисы, e-SCM, 3D-Printing, смешанная и дополненная реальность, искусственный интеллект, позволяет прогнозировать тенденции и предпочтения потребителей [179].

Совершенствование интеграционных механизмов в современных PLM-системах идет по нескольким направлениям [180].

1. Углубление автоматизации процессов сбора и обработки данных жизненного цикла изделия. Интеграция систем обработки данных с технологиями IoT, которая активно используется для прогностической аналитики рисков отказов оборудования.

2. Автоматизация обмена данными между отдельными ИТ-системами предприятия.

3. Автоматизация как исключение влияния человеческого фактора на качество информации и ее трансляцию в ИТ-систему. Здесь находят применение различные виды электронных маркировок: штрихкодирование, RFID-метки и т. п., а также формирование, выдача, контроль выполнения технологических операций в рамках индивидуальных и бригадных сменно-суточных заданий в электронном виде в автоматическом режиме.

4. Интеллектуальные средства работы с нормативно-справочными данными. Используется большое количество прикладных информационных систем различных поставщиков, обладающих собственными базами данных нормативно-справочной информации (НСИ) по материалам и комплектующим, средствам производства и технологического оснащения, контрагентам и контрактам и т. д. Дублирование баз данных НСИ приводит к повышению стоимости владения ПО, снижению качества информации, необходимости ее синхронизации, риску ошибочных решений на основе недостоверных, разрозненных данных.

Для решения комплекса задач, связанных с централизованным управлением корпоративной справочной информацией, существует специализированный класс систем Master Data Management (MDM), предназначенный для консолидации справочных данных и унификации сервисов по работе с ними. Ближайшая перспектива MDM – это переход к облачным решениям и стандартизации форматов описания мастер-данных.

Современным подходом к единому управлению в цепях поставок является методология Control Tower (диспетчерская вышка) [181].

Методология Control Tower представляет собой новый класс инструментов отслеживания KPI цепей поставок, мониторинга исключительных ситуаций и мест возникновения логистических рисков, предикативного анализа и оптимизации интегрированных показателей эффективности ЦП. Интеллектуальные диспетчерские вышки позволяют создать

настоящую цифровую коммерческую сеть, которая естественным образом синхронизирует все отделы и торговых партнеров с единственной версией истины в реальном времени. В отличие от изолированных ERP-систем, эти диспетчерские вышки поддерживают многочисленные сквозные бизнес-потоки, которые происходят по всей цепи без ограничений.

Control Tower – логистический хаб, оснащенный необходимыми технологиями, позволяющими отслеживать данные о перевозках, брать на себя простейшие операционные функции. Анализируя информацию в реальном времени, компания может принимать решения в краткой и долгосрочной перспективе и достигать стратегических целей. Основным лозунгом методологии – *Generating Immediate Value Through Real-Time Visibility*, – генерирование немедленной ценности благодаря видимости в реальном времени.

Основные отличительные черты Control Tower:

- полный контроль, E2E (сквозная) видимость и прозрачность на всех этапах;
- отслеживание процессов в реальном времени и доступная коммуникация с водителями с помощью интеллектуальных устройств;
- доступ ко всем каналам с любого устройства (Omni-Channel), возможность поделиться информацией с коллегами и управлять ею совместно;
- аналитика больших данных: обычно для этого используется система управления поставками (Delivery Management System, DMS);
- оперативные оповещения, позволяющие быстро разобраться с проблемами.

Control Tower предлагают такие характеристики, как сквозная видимость и предварительная автоматизация. Создавая экосистему, которая фокусируется на прозрачности, компании могут иметь представление о том, чтобы уменьшить риск потенциальных проблем, а также получить данные о том, как лучше управлять заказами.

Оmnikanальность как стратегия удовлетворения персонализированного спроса влечет за собой важные изменения в сфере коммуникации в ПЛС. Омниканальность (Omni-Channel) – стратегия, которая объединяет и синхронизирует все каналы связи между потребителем и бизнесом.

В ее основе лежит проактивная коммуникационная политика со стороны товаропроизводителя, активное привлечение клиента на всех этапах жизненного цикла товара и, что особенно важно, вовлечение клиента в создание товара. Пожизненная стоимость клиента (Lifetime Value, LTV) становится одной из ключевых метрик для бизнеса и ее увеличение напрямую зависит от удержания клиента.

Основные причины появления омниканального подхода [182]:

- возрастающая необходимость в обеспечении максимального понимания клиентских преимуществ и обеспечение непрерывного процесса привлечения клиента на всех этапах его LTV;
- персонализация взаимодействий с клиентом (удовлетворить потребность клиента в ощущении собственной уникальности и особого внимания к себе);
- интегрированность (увеличение числа digital-клиентов усиливает ожидания клиента относительно единого качества обслуживания во всех местах контакта с брендом);
- увеличение значимости мобильных устройств (успеха достигают те компании, которые привлекают клиентов к диалогу через разные виды онлайн-каналов).

Омниканальная стратегия включает в себя два взаимосвязанных блока [183; 184]:

- маркетинг и продажи – рашаются задачи синхронизации каталогов, доступности информации о наличии товаров, поддержки единой ценовой политики, проведения сквозных рекламных кампаний, централизованного управления акциями и скидками;
- логистика – поддержание единого уровня обслуживания для всех каналов, выполнение оптимальной по срокам и стоимости доставки товара вне зависимости от условий заказа.

Стратегия внедрения омниканальных технологий в маркетинг и продажи подразумевает бесшовное взаимодействие клиента и компании во всех каналах одновременно без ущерба скорости обработки запросов и без дополнительной нагрузки как на специалистов контактного центра, так и на потребителя.

При уже внедренных в бизнес омниканальных технологий все каналы объединены вокруг пользователя, который, в свою очередь, совершая «путь клиента» (customer journey), может безболезненно переключаться между каналами и при этом получать персонализированное обслуживание. Главная цель омниканальности – создание позитивного клиентского опыта.

Омниканальность направлена на создание единой, стабильной платформы, вне зависимости от того, какой канал выбирает клиент и как часто они переключаются между собой. В идеале объединяются все каналы: от звонков и SMS до электронной почты, онлайн-консультантов, социальных сетей, мессенджеров и Интернет вещей.

От компаний клиенты все чаще ждут персонального обслуживания. Для того чтобы оправдать эти ожидания, внедряются инновационные технологии, такие как нейросети, машинное обучение, искус-

ственный интеллект, предиктивный поиск, персонализированные рекомендации и т. д.

Оmnиканальный подход в обслуживании клиентов направлен на использование собранных данных о клиентах, построение взаимопонимания между сотрудниками и клиентами, совершенствование качества обслуживания вне зависимости от канала связи.

Преимущества оmnиканальной стратегии [182]:

- создается так называемый «разумный» полностью автоматизированный клиентский сервис, который будет не только удовлетворять текущие потребности клиентов, но и предугадывать их, и станет основой их лояльности;

- решение о выборе оптимального инструмента для коммуникаций принимается правильно настроенной платформой с полностью интегрированной системой коммуникаций;

- единый интерфейс обеспечивает доступность всех каналов и удобство их использования, а также скорость реакции на запросы клиентов;

- оmnиканальность не ограничивается обменом сообщениями, а предлагает полный цикл услуг для потребителя.

Современный ритейл требует логистических сетей, специализированных под нужды оmnиканального покупателя. Потребители могут заказать товар через колл-центр, с помощью планшета/смартфона, с веб-сайта, в магазине и потребовать доставить заказ курьером, в отделение почтовой связи, пункт выдачи заказа, в торговую точку или постамат.

Стратегия внедрения оmnиканальных технологий в логистику приводит к усложнению традиционных складских операций по сборке и отправке заказа в разы благодаря множеству новых вариантов [185]:

- ритейлерам приходится собирать сложный заказ из нескольких позиций, которые могут находиться на разных складах или в разных магазинах;

- покупатель может заказать доставку товара в ближайший к дому магазин, на дом или в пункт самовывоза.

- потребитель должен получать одинаково качественно обслуживание и в колл-центре, и в магазине, и в службе доставки.

Оmnиканальный ритейл подразумевает обеспечение «бесшовной» интегрированной торговли через все доступные каналы продаж, будь то офлайн-магазин, интернет-магазин, продажи через мобильные устройства, через социальные сети, по телефону или иными возможными способами. Ритейлеры, не имеющие собственной инфраструктуры для онлайн-торговли, получают все больше возможностей обеспечить оmnиканальные продажи с помощью партнеров, среди которых можно выделить следующих [186]:

– партнеров, предоставляющих возможность получения и возврата заказов в пунктах выдачи заказа (ПВЗ), которыми могут быть розничные сети, не являющиеся прямыми конкурентами по товарному ассортименту (например, мобильные операторы), или сети, предоставляющие услуги (от страховки до АЗС);

– операторов постаматов, таких как Pick-Point, Qiwi или LogiBox;

– маркетплейсы, предоставляющие не только «электронную витрину» для товаров, но и операции «бэк-офиса» – от фулфилмента и возврата до управления платежами за заказ – за комиссию или долю в обороте;

– операторов альтернативной логистики, в первую очередь сервисы наподобие Gett или Yandex.Taxi, а также других операторов, использующих сеть общественного транспорта, или служб курьерской доставки;

– почтовых служб, которые медленно, но верно становятся более привлекательными как для ритейлеров, так и для клиентов с точки зрения надежности, стоимости, вездесущности доставки.

Прямые продажи становятся существенной составляющей торговли, поэтому их как возможный канал сбыта, выводящий прямо на потребителя, не следует игнорировать. Исполнение прямых продаж – это процесс, охватывающий ввод заказов в базу данных, обработку заказов, управление запасами, отправление заказов и обслуживание потребителей.

Опции центра обработки вызовов могут осуществляться как собственными силами производителя, так и исполняющей компанией (fulfillment house), которая на основе субподряда исполняет эти обязанности за комиссию с каждого заказа при определенном минимуме объема продаж. Это помогает небольшим компаниям экономить на начальных инвестициях в создание собственной структуры исполнения заказов.

Экологизация как стратегия выстраивания замкнутого потока материалов, энергии и отходов приводит к выстраиванию ПЛС замкнутых цепей поставок (Closed-loop Supply Chain). В них потоки материалов, энергии и отходов циркулируют в системе за счет повторного потребления продукта, и рециркуляции материалов, где воплощаются принципы и методология 6R (reduce, recover, reuse, remanufacture, recycle, redesign).

Линейная модель экономики, базирующаяся на принципе «take, make, waste» (бери, делай, трать понапрасну), где потребление является целевой и завершающей стадией воспроизводства, уступает место цепочки экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ), в основе которой лежит цепочка «take – make – reuse» (бери, делай, используй повторно) [83; 84].

Она подразумевает, что замкнутый поток материалов, энергии и отходов может быть достигнут за счет повторного использования на уровне продукта (ремонт или восстановление), на уровне компонентов (повтор-

ное использование в производстве) и на уровне материала (рециркуляция). Методология предполагает, что потребление ресурсов необходимо уменьшать в ходе проектирования, производства и потребления товара, а бывшие в использовании товары восстанавливать и повторно использовать, их компоненты пускать в производство повторно и перерабатывать, а по итогам использования перепроектировать товар, устраняя невостребованные и неэффективные элементы. В функциональном аспекте перед ПЛС ставятся новые задачи, для решения которых должны выполняться ранее не существовавшие операции и процессы. Это повлечет за собой изменение ее организационной структуры.

Рассмотрим, как изменится структура ПЛС (рис. 4.3). Система дополняется в той или иной комбинации следующими блоками:

- индивидуализации производства (*individualization of production*) – обеспечивает производство продукции по индивидуальным требованиям для исключения перепроизводства неподходящей покупателям продукции на основе виртуальных сервисов электронной торговли (*e-commerce*);
- предоставление продукции во временное пользование (*providing temporary use of products*) – обеспечивает передачу продукции в пользование за периодическую оплату по факту ее использования;
- совместного потребления (*collaborative consumption*) – дает возможность предоставить в пользование купленную продукцию другим потребителям за вознаграждение;
- технического обслуживания (*maintain*) – обеспечивает диагностику и ремонт для сохранения или восстановления продукции до желаемого уровня производительности для ее защиты от дальнейшего повреждения и продления жизненного цикла;
- первичного сбора/приемки бывших в использовании продуктов (*initial collection*) – обеспечивает возврат продукции от потребителей на повторное использование;
- концентрации возвратов продукции (*return concentrations*) – обеспечивает хранение бывшей в использовании и возвращенной продукции;
- сортировки возвратов (*return sorting*) – разделение продукции на группы для перенаправления их в подсистемы переработки и/или повторного использования;
- повторного использования продукции (*reuse of goods*) – обеспечивает использование продукта для первоначальных или новых целей в исходном виде либо с некоторыми изменениями и улучшениями;
- восстановительного ремонта продукции (*refurbishment*) – обеспечивает приведение товара в рабочее состояние путем замены или ремонта основных узлов, а также косметическую реставрацию внешнего вида изделия;

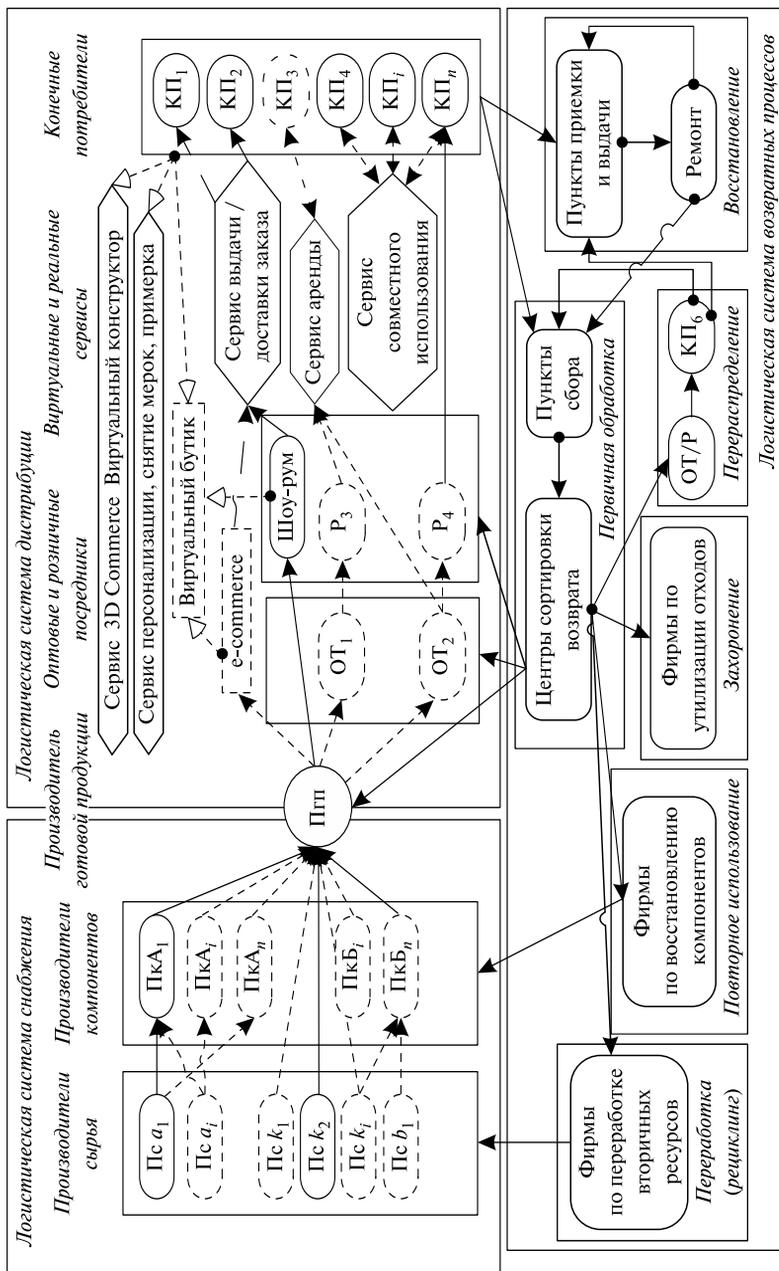


Рис. 4.3. ПЛС как замкнутая цепь поставок

Источники: разработано автором.

– восстановления компонентов (remanufacturing) – обеспечивает разборку продукта, изъятие подлежащих восстановлению деталей, их чистку, ремонт для последующего встраивания в новый продукт, при этом готовый продукт позиционируется «как новый»;

– переработки отходов и отслужившей продукции (recycling) – обеспечивает переработку в материалы, ресурсы, вещества для первоначальных или иных целей, включая операции: а) повышенной переработки (upcycling) – преобразование материалов и отходов в новые материалы более высокого качества; б) функциональной переработки (functional recycling) – восстановление материалов для первоначальной цели или других целей, за исключением получения энергии; в) пониженной переработки (downcycling) – преобразование материалов и отходов в новые материалы более низкого качества.

Сервисизация – переход ПЛС к работе по моделям «как услуга». Сервисизация приводит к трансформации производства в оказание услуг по контракту жизненного цикла, а сбыта – в модель, в которой клиенты используют продукцию путем «аренды» с оплатой по факту использования. А также встраивание «гибридной» модели использования производственных мощностей, при которой они загружаются как конечной продукцией (собственной), так и для выполнения отдельных производственных операций на заказ.

Концепция «as a service» (как сервис) подразумевает использование продукта или услуги при необходимости, по запросу. Экономический смысл этой концепции – «плати, когда пользуешься». Под термином «все как услуга» (Everything-as-a-Service, XaaS) компания Deloitte подразумевает «коренное изменение или модернизацию служб компании в угоду сервисной модели». XaaS – это собирательный термин, используемый для обозначения всех типов облачных услуг.

1. Инфраструктура как услуга (Infrastructure-as-a-service, IaaS). Потребителю предоставляются вычислительные мощности поставщика («пустой» виртуальный сервер с уникальным IP-адресом, сетевая инфраструктура, часть системы хранения данных). Пользователь может контролировать предоставляемые ему операционные системы, средства хранения, приложения, но не саму облачную инфраструктуру. Потребитель использует облачную технологию посредством программного интерфейса.

2. Платформа как услуга (Platform-as-a-service, PaaS). Поставщик предоставляет пользователю доступ к использованию программной платформы. Клиент приобретает инструменты, чтобы открывать различные бизнес-приложения на основе облачной технологии, которые разработаны с использованием поддерживаемых провайдером инструментов и языков программирования.

3. Программное обеспечение как услуга (Software-as-a-service, SaaS). Объект купли-продажи – готовое приложение провайдера, доступное для использования на различных устройствах пользователя. Потребитель временно использует программное обеспечение для решения определенных задач, но не приобретает его.

4. Аппаратное обеспечение как услуга (Hardware as a Service, HaaS). Клиенту предоставляется оборудование в пользование, на нем он может создать собственную инфраструктуру.

5. Рабочее место как услуга (Workplace as a Service, WaaS). Организация может создать рабочие места сотрудников, настроив и установив для этого необходимый софт.

6. База данных как услуга (DataBase as a Service, DBaaS). Позволяет компаниям получать доступ к базам данных (БД), обходясь при этом без настройки инфраструктуры или программного обеспечения. Администрирование, обслуживание, управление БД находится на стороне провайдера, клиент же просто пользуется БД как продуктом.

7. Безопасность как сервис (Security as a Service, SaaS). Потребитель может устанавливать системы, которые обеспечивают безопасность использования веб-технологий и защиту локальной сети.

Перечень услуг «as a service» постоянно расширяется.

Наблюдается устойчивая тенденция к переходу промышленных предприятий к работе по модели «производство как услуга» (Manufacturing as a service, MaaS). Такая бизнес-модель основана на трансформации производства в оказание услуг по запросу. ПЛС должны обеспечить интегрированное исполнение международными звеньями распределенного бизнес-процесса. В этих условиях производственное оборудование теперь все более рассредоточено географически и принадлежит разным юридическим лицам. Поставщик конечного изделия работает со многими субподрядчиками по аутсорсинговой модели. Возникает необходимость в интегрированном управлении всеми взаимосвязанными процессами. Такими интеграторами могут выступать информационные агрегаторы – цифровые платформы.

Изначально модель появилась для аддитивных производств, когда 3D-печать как дорогая технология не была распространена [187].

Использование 3D-принтеров не обеспечивало их полную загрузку, но востребованность технологии другими производителями присутствовала, что послужило толчком для создания 3D-хабов (3D Hubs) для связи собственников принтеров и заказчиков. Системы искусственного интеллекта (ИИ) соединяют покупателей и продавцов: компания, которой нужен определенный компонент, может загрузить спецификации в веб-систему и мгновенно получить цену.

Модель позволяет использовать эластичную производственную мощность (Elastic Manufacturing Capacity), т. е. размещение заказа сразу на нескольких производствах. Это не только экономит время, но и позволяет достичь конкурентных преимуществ за счет производства в одной объединенной сети. Со временем 3D-хабы распространили свою модель на традиционные производственные процессы, такие как обработка с ЧПУ и литье под давлением. Аккумулируя данные о рынке широкого круга поставщиков различных процессов, платформы MaaS получают возможность (как и фондовые биржи) выполнять котировки цен, определять рыночную клиринговую цену на тот или иной процесс.

Создание платформ peer-to-peer MaaS позволяет:

- обеспечить более высокую степень использования установленных производственных мощностей;

- улучшить прозрачность и назначение цен, определенных на основе анализа искусственным интеллектом больших данных о том, какие компании могут производить изделие и по какой цене;

- обеспечить большую и более эффективную локализацию исполнения, т. к. при равной цене и качестве выбор будет тяготеть к фирмам, расположенным ближе к месту спроса;

- получить доступ к целому ряду потенциальных клиентов малым предприятиям.

Платформы MaaS также могут сделать производственную систему более гибкой, эффективной и отзывчивой, позволят быстрее и эффективнее реагировать на колебания спроса, снижая риск рецессий и ценовых шоков.

Виртуализация – преобразование традиционного бизнеса в виртуальные организации. Виртуальное производство (Virtual Factory) реализует идею управления цепями поставок и создание добавленной стоимости через интеграцию продуктов и услуг, глобальное сетевое производство. Оно подразумевает объединения Цифровых и Умных фабрик в распределенную сеть и управление ею на уровне глобальных цепочек поставок («поставки – производство – дистрибуция» и «логистика – сбыт – сервис») при помощи единой виртуальной модели всех процессов [130]. Цифровая фабрика (Digital Factory) реализует переход к персонализированному производству и смещает акценты в область проектирования новых изделий. Ее ядром является триада «цифровое проектирование и моделирование – новые материалы – аддитивные технологии» [130], а драйвером выступает новая парадигма цифрового проектирования и моделирования – Smart Digital Twin [(Simulation & Optimization) Based Smart Big Data] Driven Advanced (Design and Manufacturing) [91; 130]. Применение таких

методов, как цифровое моделирование и оптимизация, виртуальное прототипирование, численный виртуальный эксперимент, анализ методом конечных элементов, создание цифровых двойников выпускаемого продукта и производственных процессов, обеспечивает получение глобального конкурентоспособного продукта.

Цифровой реверсинжиниринг, аддитивное производство для модельных испытаний и быстрого прототипирования методом 3D-печати, использование виртуальной реальности в продажах и маркетинге, обучения и сервиса с помощью дополненной реальности — вот далеко не полный перечень апробированных ведущими предприятиями цифровых технологий, которые лягут в основу виртуальной фабрики [104; 111; 129; 130].

Цеховая модель (job shop) с возможностью тотального удаленного контроля качества производства позволяет организовать гибкое сетевое взаимодействие участников и регулированием всех потоков 5PL-провайдером, что в результате приводит к созданию логистики нулевого уровня.

Концепция 5PL-логистики дает научную базу для преобразования традиционного бизнеса в виртуальные организации. Согласно модели Morgan&Stanley Consulting [188] иерархия логистических провайдеров выстраивается следующим образом: 1PL — автономная логистика (Self-Sufficient Logistics Function); 2PL — предоставление мощностей (Capacity Provider); 3PL — аутсорсинг логистических услуг (Outsourced Logistic Service); 4PL — интегрированное логистическое обслуживание (Integrated Logistic Service); 5PL — управление цепями поставок (Supply Chain Management) или виртуальная логистика, интернет-логистика.

Градация провайдеров услуг на пять типов предполагает постепенное расширение перечня оказываемых услуг. Так, провайдер 2PL оказывает традиционные услуги по транспортировке и управлению складскими помещениями, а 3PL выполняет еще складирование, перегрузку, оказывает дополнительные услуги со значительной добавленной стоимостью, использует субподрядчиков (контрактная логистика). Интегрированная логистика 4PL охватывает процессы планирования, управления и контроля всех логистических потоков единым оператором с долгосрочными стратегическими целями. 5PL использует возможности сети Интернет как единой виртуальной платформы для решения логистических задач.

5PL-провайдеры создают гибкие сетевые взаимодействия участников и выполняют функции регулятора всех потоков в ПЛС виртуальной организации. Результатом реализации концепции 5PL является создание логистики нулевого уровня [189].

В логистике 5PL отсутствуют любые посредники — и 3PL, и 4PL, но задействованы ресурсы 2PL-провайдеров. 5PL-провайдер становится исключительно информационным посредником в едином информаци-

онном пространстве — IT-интегратором в цепях поставок, — который обеспечивает оптимизацию всех бизнес-процессов клиента на базе информационных технологий.

5PL-подход реализуется в виде виртуальной корпорации, совместного предприятия или виртуального стратегического союза [190]. Виртуальная корпорация характеризуется как открытая, гибкая, динамичная сетевая структура. В ней потребитель становится активным элементом, взаимоотношения с ним строятся на принципах гибкости, распределенности в пространстве и времени, специализации на ключевых компетенциях. Значимыми являются приоритет горизонтальных связей, автономность и узкая специализация участников, а также адаптивность виртуальной структуры. Концепция 5PL позволяет использовать сложившиеся технологии и инфраструктуру торговой или производственной компании, тогда как 3PL и 4PL обычно требовали перестройки бизнес-процессов всех участников. В качестве действующих примеров 5PL обычно называют сайты aliexpress.com, amazon.com и других систем интернет-торговли, что доказывает что 5PL — это не специализированная организация, а надстройка на базе клиента.

4.3. Платформенные решения для формирования динамической Умной сети поставок

Проникновение цифровых технологий в экономические отношения товаропроизводителей приводит к появлению цифровых платформ (Digital Platform, DP) — интегрированных информационных систем, обеспечивающих многосторонние взаимодействия пользователей по обмену информацией и ценностями.

Платформизация — выстраивание алгоритмизированных взаимовыгодных отношений независимых участников ПЛС в единой информационной среде — приводит к снижению транзакционных издержек за счет применения пакета цифровых технологий работы с данными и изменения системы разделения труда.

Анализ литературных источников позволяет говорить, что понятие «цифровая платформа» (DP) используется как для названия посреднического института нового формата; бизнес-модели цифровой экономики; виртуальной торговой площадки; организации, которая является ее оператором; общности пользователей площадки, так и совокупности инфраструктуры, обеспечивающей ее функционирование (программный, аппаратный и сетевой комплексы). Само понятие DP еще окончательно не сложилось и рассматривается либо с позиции информационно-

коммуникационного, либо с экономико-организационного, либо технического подходов:

– DP – интегрированная информационная система, обеспечивающая многосторонние взаимодействия пользователей по обмену информацией и ценностями, приводящие к снижению общих транзакционных издержек, оптимизации бизнес-процессов, повышению эффективности цепочки поставок товаров и услуг [191].

– DP – это система алгоритмизированных взаимовыгодных взаимоотношений значимого количества независимых участников отрасли экономики (или сферы деятельности), осуществляемых в единой информационной среде, приводящая к снижению транзакционных издержек за счет применения пакета цифровых технологий работы с данными и изменения системы разделения труда [192; 193].

– DP – «комплексный набор компонентов, который обеспечивает реализацию намеченных моделей использования, позволяет расширять существующие рынки и создавать новые, а также приносит пользователям гораздо больше преимуществ, чем простая сумма составных частей. Платформа включает аппаратное, программное обеспечение и услуги» [194].

Так, для работы DP необходим единый набор компонентов: аппаратное обеспечение (процессоры, наборы микросхем, телекоммуникационное оборудование, память, системные платы и т. д.), ПО (операционные системы, прикладные программы, встроенное ПО и компиляторы); технологии (например, Hyper-Threading (HT), Intel Virtualization, Intel I/O Acceleration (Intel I/OAT), Intel Active Management (Intel AMT)); инициативы и стандарты (Wi-Fi, WiMAX, программа проверки точек беспроводного доступа и т. п.). Также необходимы правила (стандарты, протоколы, политики и контракты с правами и обязанностями), средства разработки, маркетинговые инициативы и соответствующая инфраструктура, использование которых обеспечивает членов экосистемы возможностями оказывать услуги – распространение цифровой информации, телекоммуникационные, управления системами.

В научной литературе достаточно подробно описаны существенные характеристики и уникальные особенности цифровых платформ, тенденции развития платформенных компаний [195], раскрыто значение DP как важнейшего элемента цифровой экономики [196], разработана типизация DP [193]. Рольевые функции типов участников DP, (конечных пользователей, провайдеров платформ, которые облегчают доступ пользователей к дополнениям, комплементоров – разработчиков ядра и периферийных элементов DP) и связанные с ними решения по открытости и поощрения участия в ней раскрыты в работе [197].

Платформенные решения обеспечивают и работу по бизнес-моделям циркулярной экономики. DP служат для обмена и совместного использования товаров (sharing platforms), обеспечивают их продвижение, взаимодействие между собственником и пользователями продукта (C2C, B2C и B2B сегменты), повышая уровень его использования. Наиболее распространены DP на рынках, характеризующихся тесным взаимодействием поставщиков и потребителей, – в ритейле, сферах финансовых услуг, потребительских товаров и услуг, где платформенные решения активно развиваются с начала 2010-х гг.

Вместе с тем в сегменте B2B отсутствие единых стандартов и бизнес-процессов производственной и логистической деятельности, интероперабельности информационных системах различных компаний приводит к ряду методических проблем, прежде всего в области перемещения материальных потоков между участниками, в том числе в международном сообщении, что связано со следующими факторами: переход от обмена бумажными документами к обмену юридически значимыми данными; управление ходом перевозки и взаимодействие участников перевозочного процесса в режиме реального времени; переход от конкуренции к выстраиванию экосистем участников перевозочного процесса как сообщества взаимодействующих и взаимно дополняющих хозяйствующих субъектов и регуляторов.

DP стали обладать рыночной властью за счет проникновения в традиционный бизнес посредников: операторов платформы, облаков, технических решений. Так, владельцы DP наращивают свое влияние и начинают контролировать цепочки поставок, получают дополнительные рычаги контроля над ценообразованием и могут влиять на соотношение спроса и предложения за счет создания искусственной асимметрии информации [198]. Традиционный бизнес получает очевидные преимущества от использования DP, но рискует потерять контроль над бизнесом, попадая в зависимость от владельцев цифровых платформ. В этой связи ключевая задача государства – найти управленческий баланс между эффективным стимулированием развития национальных DP и регулированием их деятельности в интересах всех групп пользователей, чтобы не допустить цифровой монополизации рынков.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что DP создаются из отдельных модулей и приложений различных поставщиков благодаря их конструктивной и цифровой совместимости, а доступ покупателя к ним идет через посредника – держателя цифровой платформы. Цифровая экономика второго поколения становится «датацентричной». Данные перемещаются в цифровые облака, а каналом их обращения становится Интернет. Формирование DP, интегрирующих данные, и разработка

обрабатывающих эти данные программных приложений становится ключевым механизмом управления всеми технологическими процессами.

DP ПЛС должна создаваться как экосистема – обладающая информационно-технологической инфраструктурой многосторонняя цифровая открытая площадка, объединяющая внешних партнеров, где реализуется принцип «win-win» при выборе пользователями платформы любого исполнителя или получения контракта. DP должна обеспечивать положительный клиентский опыт работы бизнеса через платформу и предлагать ряд сервисов по автоматизации бизнес-процессов. Правила и порядок обмена информацией, интерфейсы взаимодействия и структуры баз данных должны определяться на основе отраслевой модели данных и эталонного описания бизнес-процессов отрасли.

Сформулируем основные подходы к формированию DP ПЛС.

1. Модульный принцип создания и развития DP. В основу методологии построения каждого модуля необходимо положить микросервисную архитектуру, обеспечивающую гибкость и развитие платформы, ее открытость для интеграции с иными информационными системами (ИС). Управлением DP ПЛС должен осуществлять ее оператор. Его задачей является обеспечить бесшовную интеграцию сервисов между собой на основе единства технологической архитектуры DP ПЛС.

2. DP ПЛС должна включать в себя «магазин приложений» (appstore), или маркетплейс (marketplace), где пользователям будут доступны по запросу цифровые сервисы. Такое решение позволяет объединить на одной площадке спрос и предложение цифровых сервисов. DP ПЛС выступает как «связующее звено», без которого потребители и поставщики не нашли бы друг друга (или нашли бы со сравнительно большими временными и финансовыми издержками), а также механизмом упрощения процесса расчета между ними. Ценность DP ПЛС заключается в предоставлении самой возможности обмена и облегчении процедуры осуществления бизнес-процессов за счет алгоритмизации и повышения прозрачности.

3. DP ПЛС должна строиться на принципе взаимовыгодности отношений всех участников. Причем выгода может иметь не только экономический характер. Эффект работы на платформе определяется снижением транзакционных издержек при взаимодействии различных участников на платформе по сравнению с тем же взаимодействием без нее. Эффект может достигаться за счет реорганизации бизнес-процессов и/или применения определенных технологий работы с данными.

4. Требования к организационной модели DP ПЛС включают в себя установление участников, основного бенефициара (выгодоприобретателя) платформы, результата деятельности на платформе, значимости решения

(как количества участников деятельности через платформу), необходимых информационных технологий и информационно-технологической инфраструктуры. Процедуры взаимодействия участников детерминированы и реализуются в рамках установленного алгоритма. Само множество этих процедур взаимодействия ограничено и описано.

5. Использование современных технологических концепций в логистике и управлении цепями поставок в различной их комбинации.

6. Обработка информации, поступающей в платформу от участников, должна быть нацелена:

- на выполнение конкретного технологического процесса обработки информации (агрегирующего выполнение ряда технических операций, специфических для той или иной технологии обработки информации);

- получение информации для принятия решений (агрегация применения ряда технологий в рамках автоматизации бизнес-процесса отдельного субъекта экономики);

- получение бизнес-эффекта от предоставления товара/услуги потребителю (агрегация применения ряда отдельных автоматизированных бизнес-процессов в рамках транзакции между субъектами экономики).

К технологическим элементам ДР относятся: источники информации, средства доставки информации, средства хранения, агрегации и обогащения информации, ИТ-сервисы (программные решения), средства разработки, отладки и интеграции ИТ-сервисов с платформой и между собой. Разработка организационной модели для создания ДР должна осуществляться исходя из задач платформы, а именно:

- обеспечения подключения и моделирования всех активов, создания цифровых двойников устройств, систем и процессов;

- сбора и агрегации всех данных как собранных автоматически, так и введенных вручную операторами;

- создания озера данных и витрины данных;

- наличия инструментария для самостоятельной (self-service) генерации и визуализации срезов данных;

- управления данными (data governance);

- глубокой аналитики (машинное обучение, потоковая, NLP и др.);

- инструментов для создания сервисов;

- маркетплейса цифровых сервисов.

Основными функциональными элементами экосистемы ДР ПЛС являются цифровые платформы как площадки для конкурсного отбора контрагентов по широкому спектру вопросов – оказанию производственных услуг по проектированию, производству, техобслуживанию, ремонту, сопровождению и сервису, утилизации товаров, управлению бизнес-процессами, а также логистических услуг, консалтинга, страхования (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Модель экосистемы цифровой платформы производственно-логистической системы

Источник: [172].

DP должна предоставлять развитой пакет цифровых услуг, включающий в себя:

- инфраструктуру как услугу (IaaS);
- программное обеспечение как услугу (SaaS), в том числе стандарты и модели данных;
- сервисы на основе блокчейн-технологии;
- обеспечение электронного документооборота и трансграничного обмена электронными документами разной юрисдикции, на основе сервисов удостоверяющего центра, третьей доверенной стороны и т. д.;
- обеспечение услуг контроля и мониторинга движения грузов (Supply Chain Visibility), в том числе технологии Интернета вещей.

В рамках реализации цифровой повестки ЕАЭС Республика Беларусь проводит системную работу по вопросу формирования экосистемы цифровых транспортных коридоров (ЦТК). Так, в логистике создается экосистема цифровых транспортных коридоров (ЦТК) – комплекс технологий, методов и алгоритмов унификации и оптимизации информационного взаимодействия участников и систем транспортного комплекса государств-членов ЕАЭС. Разработан проект Концепции экосистемы цифровых

транспортных коридоров Евразийского экономического союза [199]. Разработка ДР на национальном уровне осуществляется и в цифровом пространстве ЕАЭС. В Республике Беларусь объявлено о концепции «Национальной системы электронной логистики» (НСЭЛ), разработку которой выполнял НИРУП «Институт прикладных программных систем» [200].

Отраслевую платформенную интеграцию предлагается реализовывать по принципу «кластера» цифровых платформ, с одновременным выходом на бизнес и клиентскую интеграцию, таким образом будет реализована Национальная электронная транспортно-логистическая система (НЭТЛС) [201].

Для обеспечения информационного обмена юридически значимыми данными, сведениями и документами в электронном виде между участниками экосистемы НЭТЛС как ДР должна предоставлять потребителям базовые сервисы по автоматизации их деятельности и сервисы наднационального G2G и национальных G2G, B2G, B2B уровней взаимодействия. Группа функциональных решений, включая модули аналитики и моделирования развития национального сегмента ЦТК ЕАЭС, мониторинга состояния инфраструктуры и логистических процессов в национальном сегменте ЦТК ЕАЭС, предусматривает как базовые сервисы, так и сервисы по запросу (табл. 4.1). Правила и порядок обмена информацией, интерфейсы взаимодействия и структуры баз данных должны определяться на основе эталонной отраслевой модели данных и эталонного описания бизнес-процессов отрасли.

Таблица 4.1

**Систематизация сервисов НЭТЛС
в разрезе основных бенефициаров и групп услуг**

Основной бенефициар/пользователь	
органы государственной системы управления	бизнес
Базовые сервисы	
А1. Сервис формирования достоверной отчетности по функционированию ЦТК ЕАЭС А2. Оценка объемов перевозок и загрузки международных транспортных коридоров А3. Сервис формирования достоверной отчетности об инфраструктуре	Б1. Электронное лицензирование в сфере транспорта и допуск к перевозке Б2. Организация (лицензирование, планирование, получение разрешений и пр.) и мониторинг перевозок опасных, крупногабаритных и тяжеловесных грузов

Основной бенефициар/пользователь	
органы государственной системы управления	бизнес
Базовые сервисы	
<p>A4. Оценка загруженности транспортной инфраструктуры</p> <p>A5. Информационный обмен о ходе перевозки, движении транспортных средств и грузов между государственными контролирующими органами государств – членов ЕАЭС</p> <p>A6. Электронная транспортная прослеживаемость</p> <p>A7. Сервис обмена и контроля использования разрешений на международные автоперевозки</p> <p>A8. Контроль соблюдения в таможенных органах отправления устанавливаемых сроков доставки товаров, помещенных под таможенную процедуру таможенного транзита и перевозимых по таможенной территории ЕАЭС</p> <p>A9. Электронный протокол результатов проверки органами внутренних дел (ГИБДД, ГАИ)</p> <p>A10. Электронный протокол результатов проверки органами транспортного контроля (транспортная инспекция, Ространснадзор)</p> <p>A11. Электронный протокол результатов проверки органами ветеринарного, санитарного и фитосанитарного контроля</p> <p>A12. Электронный протокол весогабаритного контроля</p> <p>A13. Контроль за соблюдением режима труда и отдыха</p> <p>A14. Контроль за соблюдением скоростного режима</p>	<p>B3. Сервис электронного сопроводительного документооборота</p> <p>B4. Сервис идентификации товаров, подлежащих таможенному контролю</p> <p>B5. Электронное таможенное декларирование</p> <p>B6. Электронная очередь на международных пунктах пропуска</p> <p>B7. Оплата проезда по платным дорогам</p> <p>B8. Электронные платежи (страхование) для обеспечения исполнения обязанности по уплате таможенных пошлин, налогов, обеспечения исполнения обязанности по уплате специальных, антидемпинговых, компенсационных пошлин, иных платежей</p> <p>B9. Сервис установления маршрута перевозки товаров, помещенных под таможенную процедуру таможенного транзита, либо в отношении товаров, находящихся под таможенным контролем</p> <p>B10. Сервис применения меры таможенного сопровождения, обеспечивающей проведение таможенного контроля</p> <p>B11. Сервис информирования о выпуске автотранспортных средств в свободное обращение на территории ЕАЭС</p> <p>B12. Сервис информирования о сроках временного ввоза транспортных средств</p>

Основной бенефициар/пользователь	
органы государственной системы управления	бизнес
Сервис по запросу	
<p>Г1. Сервис проведения углубленной и оперативной аналитики функционирования национальной транспортной системы и ЦТК ЕАЭС</p> <p>Г2. Сервис формирования сбалансированной модели развития национальной транспортной системы</p> <p>Г3. Сервис проведения углубленной и оперативной аналитики состояния и параметров функционирования элементов инфраструктуры</p> <p>Г4. Моделирование развития транспортной инфраструктуры</p> <p>Г5. Сервис информационного обмена о согласованном графике движения и плане формирования</p> <p>Г6. Сервис «зеленый коридор» на основе информационного обмена между государственными контролирующими органами</p> <p>Г7. Сервис рекомендаций по передвижению по международным транспортным коридорам на основе предиктивной аналитики их загруженности</p> <p>Г8. Сервис рекомендаций по обслуживанию товарных потоков на основе предиктивной аналитики их возникновения</p> <p>Г9. Сервис предоставления текущих (оперативных) данных для коммерческих ИТ-систем в сфере транспорта и логистики</p> <p>Г10. Сервис моделирования товарно-транспортных потоков</p>	<p>В1. Биржа перевозок</p> <p>В2. Охрана груза</p> <p>В3. Электронное страхование (экипажа, транспортного средства, груза)</p> <p>В4. Электронная складская логистика</p> <p>В5. Электронный заказ перевозки</p> <p>В6. Электронное экспедирование</p> <p>В7. Координация и взаимодействие участников перевозки в транспортных узлах</p> <p>В8. Планирование и оптимизация маршрута</p> <p>В9. Сервис навигации, информирования о пробках (заторах, очередях)</p> <p>В10. Мониторинг хода перевозки (трекинг)</p> <p>В11. Диспетчеризация перевозки</p> <p>В12. Контроль соблюдения условий перевозки</p> <p>В13. Контроль условий транспортировки (температура, удар, наклон)</p> <p>В14. Сервис управления процедурами вскрытия грузового отсека (настройка геозон в памяти пломбы, где эта операция становится возможной)</p> <p>В15. Сервис контроля состояния транспортного средства и рекомендаций по ТОиР на основе предиктивной аналитики его состояния</p> <p>В16. Электронный предрейсовый и послерейсовый медицинский осмотр и рекомендации для водителя на основе предиктивной аналитики его состояния</p>

Источник: [201].

Результатами функционирования DP ПЛС могут выступать как собственно услуги самой платформы, так и имеющие практическую значимость для бизнеса услуги: онлайн согласование маршрута, расписаний и условий перевозки; онлайн мониторинг движения транспортных средств, в том числе на основе данных информационного обмена с системами транспортной телематики, фото- и видеофиксации; онлайн мониторинг условий перевозки груза (температура, удар, наклон); контроль состояния транспортного средства, соблюдения режима труда и отдыха, контроль вскрытия грузового отсека (настройка геозон в памяти электронной пломбы, где эта операция становится возможной); обеспечение применения мобильных технических средств при проверке транспортных средств, документов на них и перевозимый груз (товар), включая применение технологий дополненной реальности.

Предусмотрены сбор, хранение и обработка аналитических данных, включая форматы многомерных кубов и OLAP-моделей; рекомендации по техосмотрам и ремонтам на основе предиктивной аналитики параметров эксплуатации транспортного средства, а также рекомендации для водителя по итогам электронного предрейсового и послерейсового медицинского осмотра и мониторинга его состояния. Здесь можно реализовать идею бимодальных цепочек поставок. В них происходит переход с традиционного режима с фокусом на бережливую эффективность, низкие риски, высокую предсказуемость на «второй режим», где обеспечивается потребность в гибкости, скорости и перестройке на новые возможности.

Разработана *карта скорости освоения, значимости и уровня вложений в создание сервисов* (рис. 4.5). В секторе 1 на рис. 5.4 отражены первоочередные сервисы госсектора. В секторе 5 отражены сервисы как прикладные ЦП типа «многие-многим», посредством которых бизнес обслуживает или взаимодействует с бизнесом через платформу. В секторах 2, 3 и 4 показаны услуги самой платформы как бизнесу, так и органам государственного управления.

Предлагается постепенное наполнение платформы сервисами. Так, выделены три круга поэтапного формирования системы. Первоочередная цель — это привлечение бизнеса на платформу, для чего следует создать ключевые для бизнеса сервисы (центральный круг). Прежде всего в эту группу отнесем сервис электронного сопроводительного документооборота, включающий в себя порядка 60 документов: удостоверений, сертификатов, свидетельств, разрешений, договоров, накладных, а также сервис электронной транспортной прослеживаемости, биржу перевозок и сервис «зеленый коридор».

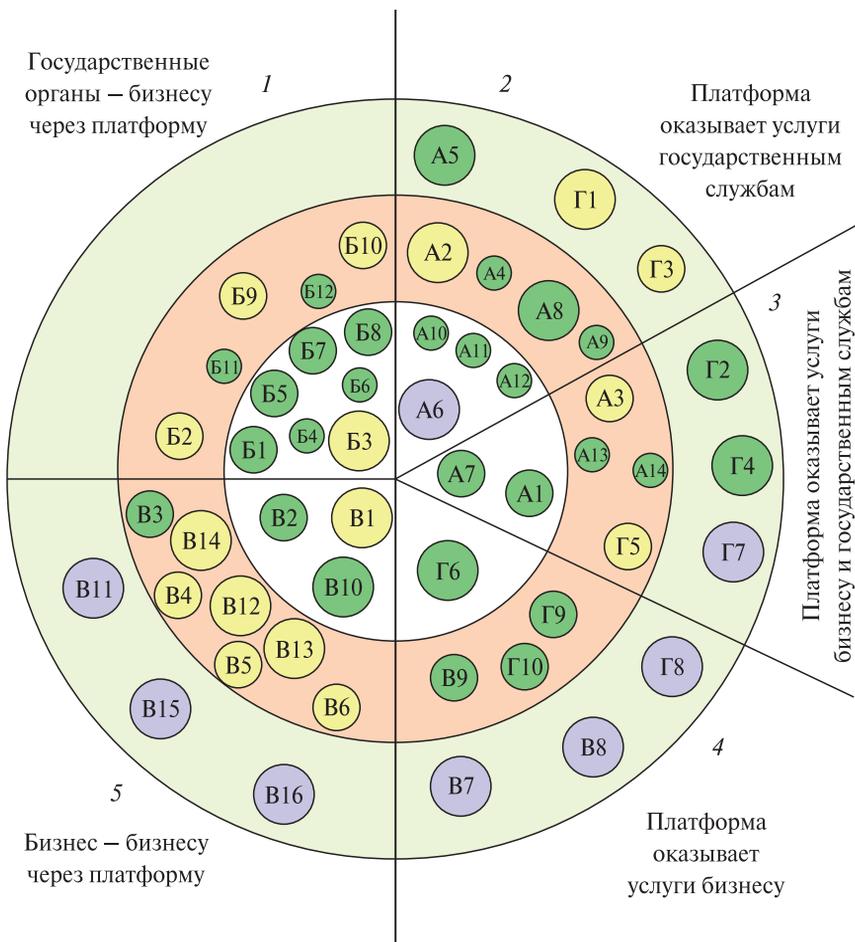


Рис. 4.5. Карта скорости освоения, значимости и уровня вложений в создание сервисов цифровой платформы производственно-логистической системы.

Условные обозначения:

горизонт освоения	значимость сервиса	уровень вложений
внедрение 3–5 лет;	высокая;	высокий;
внедрение 2–3 года;	средняя;	средний;
внедрение 1–2 года	низкая	низкий

Источник: [201, 202].

Сервисы с горизонтом освоения 1–2 года необходимы для формирования минимально жизнеспособной экосистемы, а некоторые из них уже созданы и функционируют автономно от НЭТЛС. Стоит задача обеспечить их миграцию на платформу и бесшовную интеграцию между собой и проектируемыми сервисами. На этапе расширения и масштабирования сервисов решается задача удержания и охвата большинства потенциальных участников платформы, для чего расширяется перечень сервисов (внутренний круг).

По мере накопления достоверных данных возможной становится их глубокая аналитика и продажа услуг предикативного характера с использованием искусственного интеллекта (внешний круг).

Основными результатами функционирования сервисов являются: формирование электронных документов на перевозку; доступ в цифровом формате к электронным сопроводительным документам в формате электронного обмена данными; подтверждение допуска к перевозке по штрих-коду, QR-коду, RFID-метке (стандарт GS1) или электронной пломбе; онлайн-согласование маршрута, расписаний и условий перевозки; онлайн-мониторинг хода перевозки груза (товара), трекинг перевозки с использованием технологий ГЛОНАСС; оповещение об отклонении от маршрута движения; онлайн-мониторинг движения транспортных средств, в том числе на основе данных информационного обмена с системами транспортной телематики, фото- и видеofиксации; применение мобильных технических средств инспекторами ГКО для оперативного контроля, включая применение технологий дополненной реальности при проверке транспортных средств и документов на них и перевозимый груз (товар); аналитические данные, в том числе форматы многомерных кубов и OLAP-моделей данных функционирования национальной транспортной системы и ЦТК ЕАЭС; рекомендации на основе предиктивной аналитики.

Решение задачи интероперабельности ЦП связывается нами с разработкой единого решения модели бизнес-процесса в сфере перевозок, ее верификацией и отладкой в пилотных проектах, масштабированием и использованием в качестве отраслевого стандарта, а также применением унифицированных форматов электронных документов.

4.4. Обеспечение устойчивости, гибкости и надежности как целевых ориентиров при создании Умных сетей поставок

На устойчивость и надежность ПЛС огромное влияние оказали последствия пандемии COVID-19. В конце апреля 2020 г. ООН выпустила доклад, в котором призвала страны приступить к созданию новой

экономики, поскольку старая уже не будет прежней из-за пандемии коронавируса COVID-19. Потрясения, вызванные пандемией, значительные и резкие изменения в жизни людей и организаций заставляют осмыслить и оценить правильность реагирования, а также извлечь уроки и планировать последствия. Очевидно, что меры для восстановления после пандемии COVID-19 потребуют беспрецедентной координации и сотрудничества между организациями, рынками и экономикой в целом. Организации в кризис, пройдя этап реагирования и восстановления, должны заложить основу для процветания — готовится к «следующей норме» (The Next normal) и формировать ее.

Связанные с пандемией COVID-19 карантинные меры вызывают разрывы цепей поставок и требуют их трансформации для придания им устойчивости, надежности и гибкости. Удовлетворение нестабильного спроса будет зависеть от цепи поставок и может потребовать их реструктуризации по мере сохранения и изменения ограничений, вызванных пандемией. Именно приоритетное внимание к безопасности своих сотрудников и клиентов во всей операционной среде, а также пересмотр и повышение устойчивости существующих подходов к управлению и функционированию делают вопросы обеспечения надежности и устойчивости систем через инновационную трансформацию приоритетными.

По прогнозу Всемирной торговой организации падение объема мировой торговли из-за пандемии в 2020 г. составило более 30 %. При этом объем торговли товарами в 2019 г. снизился на 0,1 % из-за торговой напряженности и замедления экономического роста, а мировой экспорт товаров в 2019 г. упал на 3 % до 18,89 трлн долл. США [203]. В докладе Международного торгового центра отмечено, что карантин, введенный на территории Китая, ЕС и США, на которые приходится 63 % мирового импорта и 64 % мирового экспорта производственно-сбытовых цепочек, привел к глобальным перебоям с поставками ресурсов для обрабатывающей промышленности и потерям на 126 млрд долл. США [204]. Потери Республики Беларусь в экспорте продукции обрабатывающей промышленности в 2020 г. прогнозируются на уровне 5–9 %.

Китай является крупным поставщиком промежуточной продукции в сфере электроники, автомобилестроения, машиностроения и производства оборудования. Остановки производства в Китае привели к отменам поставок производителям на следующие этапы производства, что серьезно ухудшило ситуацию ряда стран, поскольку доля иностранной добавленной стоимости в экспорте электроники составляла около 10 % для США, 25 % для Китая, более 30 % для Кореи, более 40 % для Сингапура и более 50 % для Мексики, Малайзии и Вьетнама (по

базе данных ОЭСР по торговле добавленной стоимостью Trade In Value Added (TiVa)) [204].

Разрыв цепи поставок сказался на повышении стоимости ведения бизнеса и выступил как шок производительности, вызвав снижение экономической активности. Более того, отмечается, что во многих случаях в период кризиса ведущие компании перекладывали бремя рисков по всей производственно-сбытовой цепочке на уязвимые малые предприятия в развивающихся странах, а возникшие в связи с этим потрясения приводили к потере рабочих мест и банкротству в этих странах.

По прогнозу аналитической компании Gartner массовый переход компаний на удаленную работу приведет к росту расходов на публичные облачные сервисы (19 %), облачную телефонию и мессенджеры (8,8 %), видеоконференцсвязь (24,3 %). Но ожидается спад продаж компьютеров и смартфонов (15,5 %), систем для дата-центров (9,7 %), ИТ-услуг (7,7 %) и корпоративного ПО (6,9 %) [205].

Беспрецедентные потери из-за ограничений в сфере транспорта в 2020 г. ожидают грузовой транспорт – более 550 млрд евро во всем мире, снижение выручки на 18 %, а пассажирский – в 3 раза больше. В Республике Беларусь потери грузового транспорта в 2020 г. прогнозируются на уровне до 10 % [206].

Нарушения нормальной деятельности привели к снижению производства, а явная тенденция к сокращению потребления вызвала снижение спроса. Двойной шок нарушил стабильность цепей поставок. Глобальный охват и сложность современных цепей поставок выдвигает на первый план триаду:

- надежность (reliability) – способность сохранять во времени значения всех параметров уровня доступности запасов и функциональности операций в установленном интервале (допуске) при воздействии внешних или внутренних возмущающих воздействий;

- устойчивость (resilient, эластичность, стойкость) – способность возвращаться к исходным параметрам доступности запасов и функциональности операций после отклонений из-за возмущающего воздействия в течение заданного переходного периода;

- гибкость (flexibility) – способность реагировать и приспосабливаться к внешней среде, чтобы возвращаться к исходным параметрам доступности запасов и функциональности операций.

Пандемия привела к существенным изменениям в цепях поставок (табл. 4.2). Проблемы в цепях поставок вызваны как их структурой, так и технологиями работы. Так, наблюдаются остановки производств в цепях поставок, работающих по технологии «точно в срок» (Just-in-time), вызванные отсутствием запасов и поставок.

Таблица 4.2

Влияние последствий пандемии на цепи поставок

Последствие пандемии	Изменение в цепи поставок
Снижение спроса и покупательной способности, изменения структуры спроса	Остановка работы цепи, дисбаланс запасов, дисбаланс грузопотоков, перебои поставок
Рост спроса на жизненно необходимые товары медицинского назначения, продукты питания и товары первой необходимости	Новые цепи, увеличение нагрузки на цепи, «зеленые коридоры», сокращение таможенных процедур на приоритетные грузы
Замедление экономической активности, приостановка производств	Снижение интенсивности использования цепи, частоты отправок отдельных рейсов, изменение маршрутов
Остановка производства ключевого звена цепи (узкое место)	Разрыв цепи из-за отсутствия диверсификации поставщиков
Введенных ограничений, закрытие границ, очереди	Остановка движения, усиление фитосанитарного контроля экспортной продукции, задержки и увеличение сроков поставки, дефицит транспорта
Массовый карантин водителей, моряков	Нехватка персонала, сложность пересменки экипажей судов
Запреты на автомобильные, авиационные и морские перевозки, отмена рейсов, выхода судов	Разрушение мультимодальных схем, смещение грузопотоков на железнодорожный транспорт
Невыход сотрудников на работу, удаленная работа	Медленное принятие и выпуск грузов в портах, складах, задержки в таможенном оформлении, грузы ожидают в море
Падение спроса на контейнерные перевозки	Дисбаланс свободного оборудования (пустых контейнеров) по странам, остановка судов
Падение спроса на пассажирские авиа- и автоперевозки	Перестройка процессов на доставку грузов, курьерскую доставку
Изменения потребительского поведения, самоизоляция, рост торговли онлайн как единственного канала сбыта	Повышенный спрос на курьерскую, бесконтактную доставку, проблемы с оптимизацией маршрутов «последней мили», сроками сбора и доставки заказов, работа магазинов без физического доступа покупателей, только для сборки онлайн-заказов (формат даркстор, dark store)

Последствие пандемии	Изменение в цепи поставок
Закрытие сектора HoReCa, увеличение числа пользователей в фудтех-сервисах	Изменение структуры внутригородских перевозок, перераспределение мощностей из B2B в сектор B2C, коллаборации такси с ретейлом

Недостаток транспарентности – представления расширенной цепи поставок (вплоть до 2-го и 3-го уровня поставщиков) – ставит под угрозу прогнозирование и нивелирование рисков. Работа с единственным поставщиком приводит к остановке работы всей цепи из-за срыва поставок.

Таким образом, основными направлениями разрешения проблем, возникших в результате пандемии, будут выступать:

- реструктуризация рынка перевозок на фоне ценового демпинга, банкротств, слияний и поглощений;
- интеграция, коллаборация участников цепей, горизонтальная кооперация и краудсорсинг, совместное использование инфраструктуры, транспорта, складов и потенциала в цепях поставок;
- развитие услуг по доставке сборных грузов, создания комплексных предложений, работа через цифровые платформы;
- диджитализация и создание высокоавтоматизированной логистики, сервисы с доступом с мобильных устройств, удаленная работа;
- развитие аутсорсинга, бесконтактной доставки на «последней миле», в том числе дронами, автомобилями под управлением автопилотом.

Однако временные изменения, вызванные пандемией, могут превратиться в стандартные подходы к работе, если обеспечат рост производительности или экономию затрат. В этой связи необходимо перейти от изменений, управляемых событиями, к изменениям, управляемым планом. Необходимо сформировать и выполнить краткосрочный тактический план, который должен быть основан на надежных данных и аналитике для понимания сложности, прогнозирования потенциальных сбоев и быстрого реагирования. При этом плановые решения должны охватывать распознавание, обнаружение угроз, реагирования на них и восстановления от их последствий.

Функциональные преобразования затрагивают состав и взаимосвязи элементов цепи поставок, что создает возможности придать ей свойства, позволяющие стать гибкой, быстро реагирующей на изменения рынка, устойчивой к влиянию факторов неопределенности, эффективной и конкурентоспособной. Анализ публикаций [207–210] позволяет сформули-

ровать ряд направлений трансформации цепей поставок, где все чаще осваивают новые способы быстрой работы, переходят к более плоским, неиерархическим структурам, принимая более радикальные действия по обеспечению устойчивости цепей поставок по мере возврата к состоянию синхронизации. Рассмотрим основные из них.

1. Цифровая трансформация процессов производства и логистики. Сокращение возможности задействовать персонал заставляет активизировать использование таких технологий взаимодействия человека и машин, как виртуальная и дополненная реальность, робототехника и автоматизация, автоматизация роботизированных процессов (RPA) и чат-боты. Приоритетными становятся возможности подключения через датчики, Интернет вещей, облачные технологии и блокчейн, а также аналитика и интеллект – от больших данных и расширенной аналитики до искусственного интеллекта и автоматизация интеллектуального труда.

2. Прозрачность цепи поставок. Принятие решение должно базироваться на достоверной, своевременной и точной информации. Обеспечение видимости (visibility) и сквозной прозрачности (end-to-end transparency) цепи возможно через применение технологии диспетчерских вышек. Технология обеспечивает своевременную доступность данных, упреждающих предупреждений, предписывающих аналитических данных и автономного выполнения. Интеллектуальные диспетчерские вышки позволяют создать настоящую цифровую коммерческую сеть, которая естественным образом синхронизирует все отделы и торговых партнеров с единственной версией истины в реальном времени. Control tower – логистический хаб, оснащенный необходимыми технологиями (искусственного интеллекта, машинного обучения (AI / ML) и расширенной аналитики), которые внедрены в бизнес-процессы посредством управления изменениями и позволяют отслеживать данные о перевозках, брать на себя простейшие операционные функции. Анализируя информацию в реальном времени, компания может принимать решения в кратко- и долгосрочной перспективе и достигать стратегических целей, генерировать ценности благодаря видимости в реальном времени.

Создание комплексного представления о цепочке поставок с помощью подробного сопоставления подуровней является критическим шагом к выявлению скрытых отношений, которые создают уязвимость.

3. Уязвимость цепи поставок. Экосистема цепи поставок подвергается шоковым воздействиям, возникающим как вовне, так и внутри системы. Анализ причин разрывов цепи позволяет выделить четыре группы факторов: форс-мажор (геофизическое событие, климатические сбои, пандемия); макрополитические (конфликты, финансовый кризис, рецес-

сия, торговый спор), действия злоумышленников (кибератака, кража), идиосинкразия (банкротство поставщика, сбой ИТ, авария). Внешние и внутренние (остановка производства, исчерпание запасов, остановка транспорта и т. п.) удары воздействуют на слабые места и нарушают целостность цепи.

Выявление уязвимостей (vulnerabilities) позволяет устранить их причины и проактивно планировать действия. Уязвимость возникает из-за решений отдельных звеньев и особенностей технологии и структуры цепи создания стоимости. Необходимо проанализировать структуру расширенной сети поставок (1-й и 2-й уровни) и выявить звенья или материалы, которые представляют повышенный уровень риска. Выделение запасов, узких мест и провалов в работе контрактов On-Time In-Full (OTIF) позволят проактивно планировать риски.

4. Проактивное планирование рисков. Цифровые технологии доступны для проактивного планирования потенциальных рисков, разработки планов смягчения последствий и принятия хорошо обоснованных компромиссов между риском и доходом. Методы разработки сценариев позволяют выявлять альтернативные действия, сравнить, проанализировать и выбрать наилучший альтернативный сценарий и представить рекомендации назначенным заинтересованным сторонам.

5. Непрерывное управление в цепи поставок. Быстрое реагирование на постоянно меняющиеся условия ведения бизнеса должно быть обеспечено за счет более интегрированного и итеративного подхода к управлению, повышения частоты контактов и разработки планов, скорости обратной связи. Динамическое планирование продаж и операций (S&OP) первоначально ориентированное на согласование спроса и предложения, должно способствовать согласованию организационных целей и планов особенно для расширенной цепочки поставок. Непрерывное управление ограничениями цепочки поставок связано с их выявлением, анализом их влияния на финансовые показатели и разработки мер по избеганию упущенных возможностей. Решение вопроса дисбаланса запасов в сети, вызванного высокой волатильностью спроса и предложения, связывается с поиском возможности динамического развертывания запасов, в том числе из неосновных мест дислокации. В этой связи необходимо создать альтернативные маршруты и способы доставки на затронутые рынки и обратно.

Решение о временной или постоянной замене альтернативных источников поставок материалов сократит количество узких мест в цепочке поставок, обусловленных неравномерным развитием регионов после пандемии, работой с перегруженными портами, усилением нехватки из-за нормирования поставок или страхования от краха поставщика.

Рассмотрим меры совершенствования управления в цепях поставок для формирования «следующей нормы», охватывающий новые способы быстрой работы, переход к более плоским, неиерархическим структурам, более радикальные подходы к управлению.

1. Изменение структуры — от жесткой иерархии к более тонким и плоским структурам, которые позволяют системе быстро реагировать на возникающие проблемы и возможности. Гибридная форма работы — комбинация виртуального и реального взаимодействия, обеспечение цифровой возможности удаленной работы и сотрудничества, создание рабочих норм, способствующих социальной сплоченности.

2. Коллаборация, выстраивание партнерских отношений, так как скорость технологических и бизнес-инноваций делает практически невозможным осуществлять все работы в рамках одной организации, а современный связанный мир разрушает традиционные границы, интегрируя покупателей, поставщиков, производителей, торговцев в единую систему.

3. Отказ от совершенных решений в пользу быстрых. Ускорение и делегирование принятия решений на местах, увеличение частоты принятия решений, терпимость к ошибкам, которые не ставят бизнес под угрозу. Делегирование ответственности за исполнение, действия и сотрудничество, создание у работников правильных навыков и мышления для самостоятельного решения проблем.

4. Сетевая организация и самоуправление. Создание динамической сети быстрых, гибких, небольших, сфокусированных кросс-функциональных команд для совместной работы по достижению общего набора целей, которые отслеживаются и измеряются. При этом роль высшего руководства изменяется от командно-административного реагирования на кризис к созданию и сплочению команд-лидеров.

5. Обучение и создание кадрового потенциала будущего. Поиск талантов, способных работать в стрессовых условиях, наращивание потенциала, выработка навыков лидерства и критического мышления, способности работников взаимодействовать с технологиями и использовать передовую аналитику, развитие функциональных навыков закупок следующего поколения, производства Индустрии 4.0, цифрового маркетинга и продаж.

Глава 5

МЕХАНИЗМЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

5.1. Цифровая трансформация в системе организации и осуществления проектов развития производственно-логистических систем

Механизмы цифровой трансформации должны быть встроены в *систему организации и осуществления проектов развития ПЛС*. Взаимосвязь элементов системы организации и осуществления проектов развития ПЛС отражена на рис. 5.1. Процессы цикла развития ПЛС сгруппированы в три блока:

- формирование ПЛС с использованием инструментов системного инжиниринга;
- текущая поддержка уровня развития ПЛС с использованием инструментов локальных улучшений, совершенствования, модернизации;
- перепроектирование ПЛС путем ее реинжиниринга в случае признания результатов текущего функционирования неприемлемыми.

В ходе функционирования ПЛС на нее оказывают негативное влияние как внешние, так и внутренние факторы, снижающие достигнутый уровень эффективности ниже приемлемого. Это требует осуществлять текущую (локальную) коррекцию ПЛС для реализации заложенного в ходе инжиниринга ее потенциала. На этом этапе обеспечивается результативность ПЛС, достижение требуемой степени осуществления запланированных работ и результатов. Гибкость, адаптивность процессов к изменениям условий функционирования обеспечивается внесением изменений

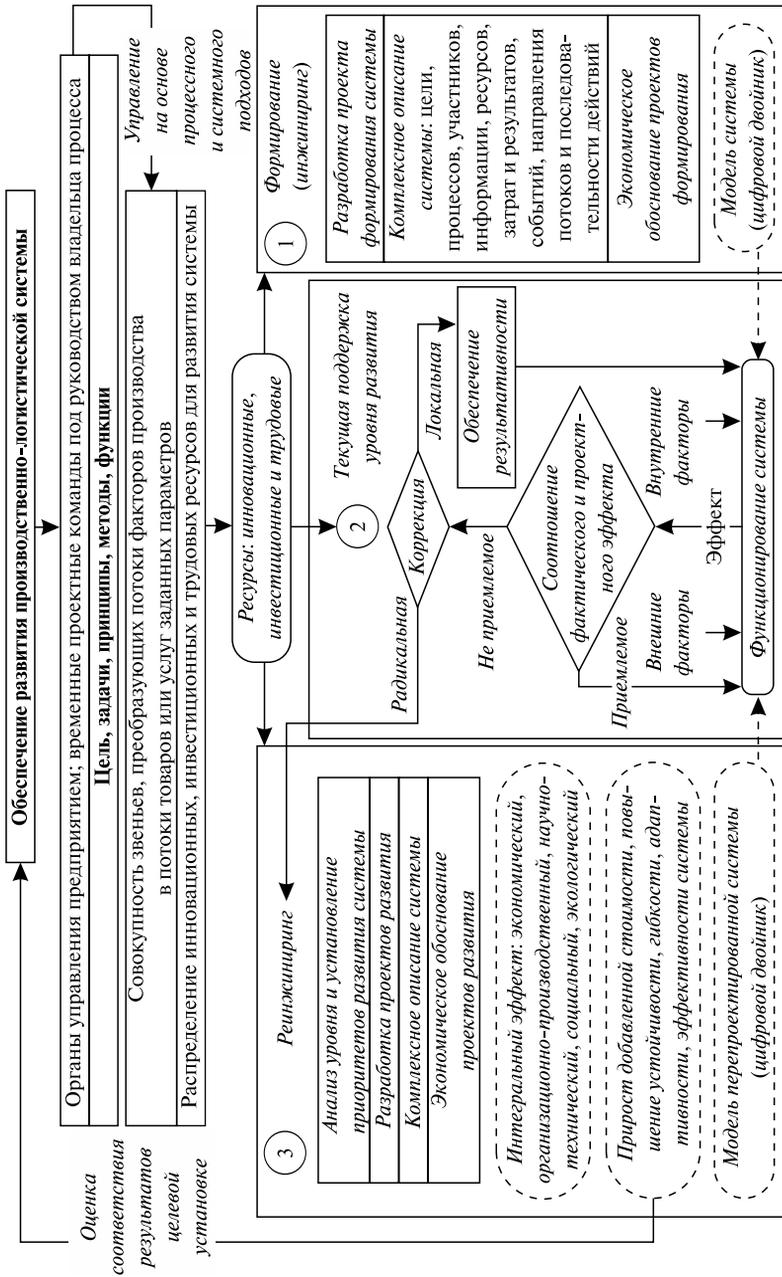


Рис. 5.1. Система организации и осуществления проектов развития производственно-логистических систем
Источники: разработано автором.

в модель ПЛС в ходе ключевого процесса в цикле развития – реинжиниринга. Он используется в случае признания результатов функционирования ПЛС неприемлемыми в сложившихся условиях хозяйствования и невозможности достижения улучшения локальными средствами коррекции.

Для развития ПЛС как целостной саморазвивающейся открытой системы необходимо принимать управленческие решения двух типов: первого типа – это решения локальной оптимизации малыми шагами, затрагивающие отдельные элементы, процессы, подсистемы; второго типа – решения, предусматривающие радикальное перепроектирование состава, взаимосвязей и согласованности во времени и пространстве элементов системы.

В системе реализуется циклическое поступательное движение ПЛС в своем развитии: «формирование – текущая поддержка уровня развития – реинжиниринг». При формировании ПЛС используется инжиниринг (создание систем как инженерная деятельность), обеспечивающий проектирование базовой модели ПЛС путем отбора ее из возможных вариантов, максимально возможное соотношение результата и затрат по процессам, определенный уровень эффективности системы. Этапы проектирования ПЛС укрупненно можно сгруппировать следующим образом:

– *аудит действующей системы* для фиксации проблемных симптомов процесса дистрибуции посредством сбора данных об истории и текущем состоянии операций. Формализация текущего состояния системы на основе анализа данных, сопоставлении фактических параметров и плановых целевых значений ключевых показателей деятельности процессов, анализ уровня обеспечения требований клиентов (customer service levels);

– *формулировка рекомендаций* по текущей модернизации системы, включающая в себя выбор конкретных элементов ПЛС для совершенствования. Определение наиболее важных проблем для привязки их к процессам и звеньям системы позволяет установить очередности совершенствования подпроцессов (в порядке важности проблем). Оценка дисфункциональности процесса, его внутренней и внешней значимости, восприимчивости к совершенствованию и его поддержки лицом, принимающим решения, осуществимости совершенствования, его масштаба, размера инвестиций в проект; наглядности и «эффективности» результатов;

– *моделирование ПЛС с применением методов совершенствования*, включающего в себя разработку модели текущей системы, верификацию

модели, расчет показателей с учетом плана развития, выработку альтернативных схем и построение альтернативных моделей решений проблемы;

– *выбор и внедрение оптимальной модели ПЛС* путем сравнения, анализа, оценки альтернатив, планирования работ, контроля за ходом внедрения и оценкой функционирования внедряемой модели;

– *внедрение системы постоянного улучшения ПЛС*, что предполагает определение и формализацию функции постоянного мониторинга и анализа параметров ПЛС и систематический пересмотр и модернизацию.

Инновационный инструментарий реинжиниринга использует свойство адаптивности ПЛС к изменениям условий функционирования для его радикального улучшения, осуществляет переход от «как есть» к «как должно быть» на основе анализа уровня и установления приоритетов развития системы. Результатом данного этапа является модель перепроектированной ПЛС.

Использование методики экономического обоснования для отбора конкурирующих проектов обеспечивает достижение максимально возможного соотношения результата (качество) и затрат по проектируемой ПЛС, устанавливает проектный уровень ее эффективности. Результатом данного этапа выступает базовая (первоначальная) модель ПЛС, которая по решению органа управления предприятием принимается для осуществления как наиболее целесообразная.

Принятие технологии к внедрению должно подчиняться принципу оптимальности. Задачи оптимизационного типа при формировании проектов цифровой трансформации ПЛС могут быть сформулированы двояко:

– при ограниченных ресурсах добиться максимума векторной целевой функции (системы ключевых индикаторов);

– при запланированных значениях ключевых индикаторов добиться совокупного минимума используемых ресурсов.

Проблемы оптимизации вызваны действием следующих факторов:

– многокритериальный характер большинства задач оптимизации;

– сложность, большая размерность и трудоемкая формализуемость объектов и процессов в ПЛС;

– стохастический и динамический характер большинства параметров оптимизации и целевой функции;

– сложность моделирования объектов и процессов в ПЛС;

– сложность формализованного описания использования ресурсов, параметров оптимизации, целевых функций;

– неоднозначный выбор системы измерителей для оценки использования ресурсов;

– влияние большого числа стохастических факторов окружающей среды на функционирование ПЛС;

– высокий уровень неопределенности и рисков.

Достижение целей цифровой трансформации ПЛС определяется отношением добавленной стоимости к инвестициям, которые функционально зависят от запланированных оптимизационных воздействий:

$$E(OI) = \frac{VA(OI)}{I(OI)},$$

где E – коэффициент эффективности трансформации ПЛС (efficient factor); OI – оптимизационное воздействие на ПЛС (optimization influence); VA – добавленная стоимость (value added); I – инвестиции (investment).

Первая производная от функции эффективности позволяет выявить экстремумы функции и оценить степень отклика системы на оптимизационное воздействие:

$$R(OI) = \frac{\partial E(OI)}{\partial OI} = \left(\frac{\partial VA(OI)}{\partial OI} I(OI) - \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} VA(OI) \right) / (I(OI))^2,$$

где R – степень отклика системы на оптимизационное воздействие (response); OI – оптимизационное воздействие на ПЛС; E – коэффициент эффективности; VA – добавленная стоимость; I – инвестиции.

Реализация принципа оптимальности требует принимать к реализации такие оптимизационные воздействия на ПЛС, которые обеспечат положительный и максимальный отклик системы ($R(OI) > 0$ и $R(OI) \rightarrow \max$). Анализ функции позволяет выделить следующие виды оптимизационных воздействий:

1) *улучшающие главную функцию* ПЛС, обеспечивающие прирост добавленной стоимости при $I(OI) = \text{const}$:

$$R(OI) = \frac{\partial VA(OI)}{\partial OI} / I(OI) > 0 \text{ при } \frac{\partial VA(OI)}{\partial OI} > 0,$$

где $R(OI)$ – степень отклика системы на оптимизационное воздействие; OI – оптимизационное воздействие на ПЛС; $VA(OI)$ – добавленная стоимость; $I(OI)$ – инвестиции;

2) *ресурсосберегающие*, сохраняющие выполнение главной функции ПЛС, обеспечивающие размер добавленной стоимости на существующем уровне, т. е. при $VA(OI) = \text{const}$:

$$R(OI) = -\frac{\partial I(OI)}{\partial OI} \cdot VA(OI) / (I(OI))^2 > 0 \text{ при } \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} < 0,$$

где $R(OI)$ – степень отклика системы на оптимизационное воздействие; OI – оптимизационное воздействие на ПЛС; $VA(OI)$ – добавленная стоимость; $I(OI)$ – инвестиции;

3) *комбинированные*, обеспечивающие:

$$R(OI) \rightarrow \max \text{ при } \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} < 0 \text{ при } \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} > 0,$$

где $R(OI)$ – степень отклика системы на оптимизационное воздействие; OI – оптимизационное воздействие на ПЛС; $I(OI)$ – инвестиции.

4) *негативные*, требующие инвестиций, но не обеспечивающие прироста главной функции ПЛС, добавленной стоимости:

$$\frac{\partial VA(OI)}{\partial OI} I(OI) \leq \frac{\partial I(OI)}{\partial OI} VA(OI),$$

где $VA(OI)$ – добавленная стоимость; OI – оптимизационное воздействие на ПЛС; $I(OI)$ – инвестиции.

Таким образом, выбор оптимизационного воздействия для реализации на практике обусловлен его влиянием на систему.

Решение проблем оптимизации следует связывать с развитием многокритериальных моделей оптимизации взамен однокритериальных, где критерием выступает, как правило, минимум затрат на отдельную функцию. Для освоения многокритериальных моделей необходимо организовать и выполнить:

- разработку совокупности частных показателей эффективности отдельных логистических функций и их объединение в систему ключевых индикаторов;

- разработку методов объединения ключевых индикаторов в интегральный критерий оптимизации, например, через рейтинговые балловые оценки;

– формирование системы формализованных ограничений-факторов как внутренней, так и внешней среды функционирования логистической системы;

– системное использование достаточно мощных средств моделирования, создание цифровых двойников, что жизненно необходимо в условиях большой размерности и высокого уровня неопределенности;

– организацию интегрированной системы мониторинга как ключевых индикаторов собственного бизнеса, так и параметров внешней среды, а особенно отдельных участников ПЛС.

Решение указанных задач несомненно требует значительных затрат времени и денег, однако обоснованные в единой системе оценки управленческие решения позволят более достоверно и качественно работать всем участникам ПЛС.

5.2. Управление процессом цифровой трансформации производственно-логистических систем

Управление процессом цифровой трансформации основывается на методологии управления проектами.

Процесс цифровой трансформации предусматривает следующее:

– осведомленность о технологиях – информированность сотрудников компании о цифровых вызовах, обучение сотрудников, обмен лучшими практиками;

– видение цифровых технологий – разработка цифровой стратегии, адаптация деятельности компании, формирование экосистемы партнеров;

– цифровую лабораторию и прототипы – создание прототипов, небольшие изменения в сфере ИТ, испытание новых сфер применения технологий, организация демонстрационного зала;

– цифровые инновационные проекты – распространение инициатив, инкубация/запуск инновационных проектов, инвестиции в перспективные стартапы;

– комплексную цифровую трансформацию – диджитализация процессов, опережающее управление инновациями, создание новой экосистемы.

Предприятиям необходимо переходить от осведомленности о цифровых технологиях к разработке плана и внедрению комплексной цифровой трансформации (ЦТ). План комплексной цифровой трансформации может включать в себя [211]:

- формирование инновационного видения, целей и задач ЦТ;
- формулирование и ранжирование идей, определение возможностей и ограничений, оценку текущей зрелости цифровых решений предприятия, выделение зон улучшений, выбор и детализацию бизнес-модели;
- организацию внедрения, определение структур и процессов, необходимых для управления инновациями, запуск идей, прототипирование;
- тестирование на пилотных проектах, получение обратной связи от клиентской аудитории, исполнителей производственных задач;
- распространение инновационных решений.

Разработку проектных решений по цифровой трансформации ПЛС как инновационный процесс можно разделить на четыре последовательных этапа с обратной связью, как показано на рис. 5.2, а именно:

- нечеткое начало инновационного процесса;
- разработка новой модели;
- освоение новой модели;
- коммерциализация новой модели.

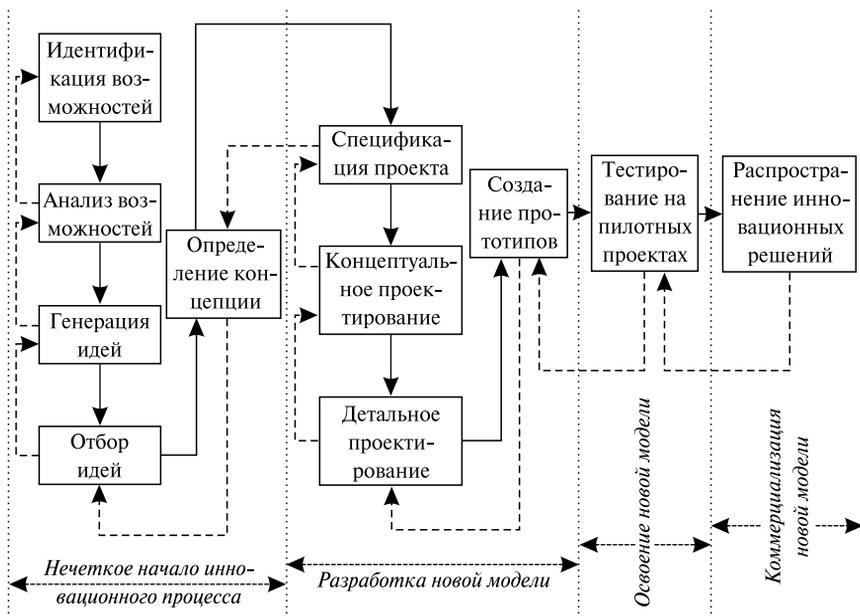


Рис. 5.2. Основные этапы разработки проектных решений по цифровой трансформации ПЛС

Источник: разработано автором.

Благодаря интегрированной информационной системе ПЛС должна быть обеспечена работа в едином информационном пространстве, обмен данными в режиме реального времени, сохранение версий технических проектных решений, анализ отчетов об использовании новой технологии или решения. Эффективная координация возможна через «сквозные» системы автоматизированного проектирования — CAD/CAE/CAM. Они автоматизируют всю совокупность инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий. Охват жизненного цикла системы с момента ее проектирования, материализации и до момента ликвидации должен быть обеспечен технологией цифровых двойников.

Работы по администрированию проекта цифровой трансформации ПЛС отражены на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Этапы администрирования проекта цифровой трансформации производственно-логистической системы

Источник: разработано автором.

Устранить недостатки традиционного управления инновационными процессами способна интегрированная Agile-Stage-Gate-модель. В ней, согласно модели Stage-Gate «Ворота» (Cooper, 2016), последовательный процесс работ объединяется с адаптивной моделью управления проектами Agile. Agile («гибкий») – гибкий итеративно-инкрементальный подход к управлению проектами и продуктами, ориентированный на динамическое формирование требований и обеспечение их реализации в результате постоянного взаимодействия внутри самоорганизующихся рабочих групп, состоящих из специалистов различного профиля. Модель Stage-Gate интегрируется с адаптивной моделью управления проектами Agile, чтобы стать тем, что Р. Купер называет системой Triple A: Adaptive and flexible; Agile and Accelerated, т. е. адаптивной и эластичной, гибкой и ускоренной [212]. Преимущества этой гибридной модели заключаются в более быстром и адаптивном реагировании на меняющиеся потребности клиентов, лучшей интеграции «голос клиента» и командной коммуникации, повышении производительности разработки и быстром выходе на рынок.

Процессы проектирования системы управляются как проекты исследований и разработок (R&D или НИОКР). Управление проектами является инструментом как разработки самих проектов от идеи до продукта, так и для планирования выхода продукта на рынок. В последние годы все большее внимание уделяется разработке методологий и формированию мышления, необходимых для принятия ориентированных на клиента решений. Управление процессами разработки в целях достижения максимальной эффективности стало предметом широкого спектра исследований и такие концепции, как Lean Startup и Lean innovation, начали приобретать массовую привлекательность в R&D [213–215].

Справедливо говорить, что процесс проектирования, создания или обновления системы для ее целевой аудитории пользователей становится все более гибким (Agile) и бережливым (Lean). Lean можно определить как комплексный многоаспектный подход к непрерывному совершенствованию, включающий в себя различные инструменты управления, основанные на концепции ликвидации потерь [216; 217].

Считаем возможным использование бережливой разработки продукта (Lean Product Development, LPD) при создании ПЛС как сложных систем, базирующейся на следующих принципах бережливого мышления: определение и максимизация потребительской ценности; определение потока создания ценности; обучение и совершенствование. Она включает в себя конкретные практики, которые подчеркивают необходимость использования меньшего количества ресурсов, работ в процессе, времени

и затрат для производства физического продукта, продукта знаний или продукта услуг [218].

LPD включает в себя наиболее эффективные методы и технологии управления, такие как: эффективное управление воронками инноваций (effective pipeline management); вытягивающее планирование (pull scheduling); бережливый процесс пересмотра требований к инновациям на каждом этапе (lean gate review process); минимизация мультизадачности (minimize multi-tasking); планирование проектов, базирующееся на командной работе (team-based project planning); управление проектами, основанное на концепции критической цепочки (critical chain project management); проактивное управление рисками (proactive risk management) [213; 214; 219].

Использование LPD нацеливает не только на синхронизацию работ, но и на создание продуктов (систем) с высокой потребительской ценностью. Работы выполняются в условиях неопределенности самоорганизующимися кросс-функциональными проектными командами, что предусматривает активную разработку, параллельное проектирование и всеобщее обучение при тонком управлении и организации быстрой передачи знаний.

Динамичный гибкий итеративно-инкрементальный подход к управлению проектами, ориентированный на постоянный учет и пересмотр требований потребителя и обеспечение их реализации в продукте, становится возможным в результате постоянного взаимодействия внутри самоорганизующихся рабочих групп [220].

Lean добавляет к принципам Agile схему потока операций (workflow) для того, чтобы каждая из итераций выполнялась одинаково качественно. Методика гибкого проектирования использует «поток» — возможность перекрытия стадий инновационного процесса друг другом для повышения скорости создания инноваций, гибкость, изменяемость количества стадий процесса в зависимости от масштабов, уровня риска и финансирования процесса.

Особенностью гибкого проектирования является то, что разработка ведется короткими циклами, элементы и прототипы продукта быстро тестируются в реальных рыночных условиях с помощью нескольких клиентов с сохранением понравившейся им версии продукта и внесением новых требований в проект, после каждого этапа предусмотрена возможность возврата на предыдущий. Но именно срок вывода продукта на рынок и его стоимость становятся более важными, чем контрактные обязательства в сфере технических характеристик, которые должны изменяться в ходе проекта.

5.3. Системный и непрерывный инжиниринг в механизме цифровой трансформации производственно-логистических систем

При изучении развития ПЛС были разработаны подходы к их проектированию и оптимизации на базе алгоритма реинжиниринга и инновационного развития сложных систем [221–224]. В развитии авторского подхода следует отметить, что в механизм трансформации ПЛС необходимо внедрить подходы системного и непрерывного инжиниринга.

Системный инжиниринг становится основной проектной методологией, подходом к созданию сложных систем, к которым относятся и ПЛС. Согласно определению Международного совета по системной инженерии (International Council on Systems Engineering, INCOSE) системный инжиниринг (СИ) – это междисциплинарный подход и средства для создания успешных систем [225]. СИ фокусирует внимание разработчиков на глубоком анализе и отслеживании потребностей пользователей создаваемой системы и функциональных требованиях к ней на протяжении всего жизненного цикла (ЖЦ) системы (концептуальное проектирование, разработка, изготовление, испытания, эксплуатация и утилизация).

СИ характеризуется следующими отличительными моментами по сравнению с традиционным проектированием [226].

1. Идеология проектирования:

- представление обо всех стадиях ЖЦ системы как о процессах добавленной ценности – ключевая идея современного менеджмента качества и бережливого производства;
- архитектурный подход в проектировании;
- создание гарантий приемлемости рисков применения системы на всех стадиях проектирования, начиная с концепции;
- проектирование тестов одновременно с инжинирингом требований (V-модель).

2. Организация работ:

- четыре параллельных «потока» проектирования – проектирование системы (1), проектирование компонентов (2), проектирование технологии производства и монтажа (3), проектирование процесса эксплуатации (4);
- группы, работающие по единой технологии, обменивающиеся данными проекта и знаниями в режиме реального времени;

– постоянный менеджмент рисков, выполняемый во всех работах проекта и всеми участниками проекта.

3. Системная интеграция в ЦП:

– система управления интегрирована не только внутри предприятия, но и между предприятиями по всей цепочке поставок и по всем стадиям ЖЦ;

– информационная безопасность – всеобщая задача, во всех работах проекта и выполняемая всеми участниками проекта.

4. Документация проекта:

– «карточки требований» вместо технического задания;

– функциональные цифровые макеты вместо схем и чертежей и т. д.

5. Квалификация и мотивация участников команды проекта, менеджмент персонала: самоменеджмент, честность, открытость, умение коммуницировать.

СИ первоочередное внимание уделяет описанию архитектуры системы (Architectural Description), где акцент делается на взаимосвязи между:

– заинтересованными сторонами (лицами) (Stakeholders);

– интересами (Concerns) заинтересованных сторон;

– представлениями (Views), отражающими связанные с системой интересы;

– точками зрения (Viewpoints), отражающими соглашения для разработки и использования представлений;

– моделями (Models).

В ходе разработки проектных решений следует опираться на специфичные процессы СИ [227]:

– анализ требований: оценка исходных потребностей и переход к требованиям системы;

– функциональный анализ: идентификация функциональности, необходимой для достижения требований системы и их размещение по функциям;

– синтез: разработка проектов системы и решений по компонентам системы для удовлетворений установленных требований;

– системный анализ и контроль: анализ и оценка результатов и другие мероприятия для их согласования и уточнения, а также управление техническими усилиями между дисциплинами и документирование результатов;

– верификация: выполняемые мероприятия и элементы системы, необходимые для оценки прогресса и эффективности разрабатываемых системных продуктов и процессов и для измерения соответствия спецификации.

Основной задачей становится поиск методов сокращения сроков выполнения проектных работ и повышения потребительской ценности систем, закладываемой в процессе проектирования.

Управление сложными задачами по разработке систем возможно благодаря непрерывному инжинирингу. Непрерывный инжиниринг как новая философия разработки сложных технических систем позволяет быстрее адаптироваться к ускоренному темпу изменений, помогает инженерам ускорять обучение через использование процессов управления полным жизненным циклом, включающих в себя управление стоимостью, качеством и рисками. Три основополагающих принципа непрерывного инжиниринга – это стратегия повторного использования ранее разработанных изделий, стирание границ по доступу к проектной документации в смежных областях проектирования и постоянная верификация как требований, так и проектных решений [228].

Для определения единой процедуры разработки сложных систем используется так называемая V-модель (рис. 5.4). Она направлена на упрощение понимания задач, связанных с разработкой составных частей систем, подсистем, компонентов. Основной принцип V-образной модели

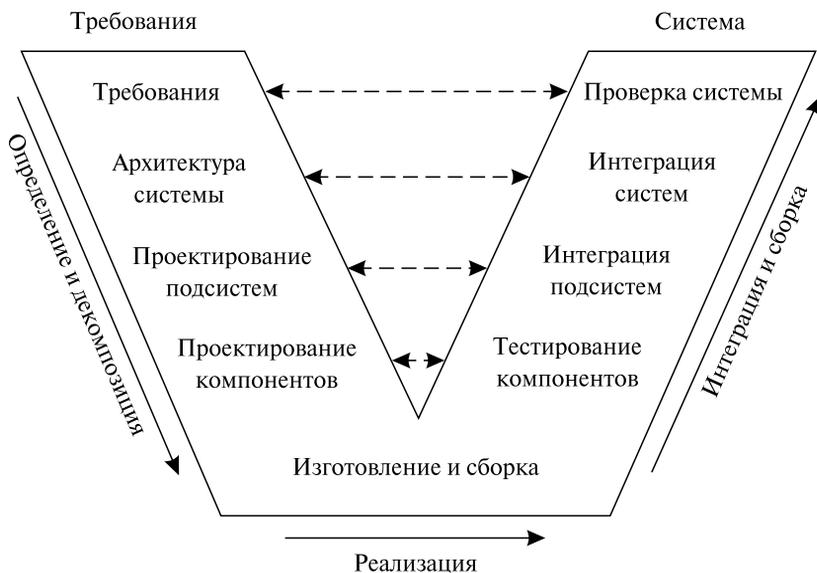


Рис. 5.4. V-модель системной инженерии

Источник: [82, с. 63].

заключается в том, что детализация проекта возрастает при движении слева направо, одновременно с течением времени. Итерации в проекте производятся по горизонтали, между левой и правой сторонами буквы. Внутри V-образной модели проводятся горизонтальные линии, показывающие, насколько результаты каждой из стадий разработки влияют на развитие системы тестирования, причем на каждой из стадий тестирования.

Интеграция V-образной модели с методологией системной инженерии на основе моделей (Model Based System Engineering, MBSE) позволяет использовать ее цифровой двойник для валидации процесса создания системы при переходе с одного этапа на другой.

Цифровой двойник системы как ее виртуальная модель, которая развивается на всех этапах, представляет собой матрицу требований/целевых показателей и ресурсных (временных, финансовых, технологических, производственных, экологических и т. п.) ограничений. Профессор А. И. Боровков указывает, что данная матрица предназначена для рациональной «балансировки» большого количества целевых характеристик объекта в целом и его компонентов в отдельности, которые, как правило, конфликтуют между собой как на одном этапе, так и на разных стадиях жизненного цикла [229].

Подобный подход позволяет верифицировать работоспособность системы на базе виртуальной модели, не дожидаясь ее физического создания, и оптимизировать ее параметры так, чтобы они соответствовали запросам потребителя системы и вписывались в имеющиеся ресурсные ограничения.

5.4. Разработка проектных решений по цифровой трансформации производственно-логистических систем

На основании желаемого результата и анализа возможных угроз применения цифровой технологии определяется ее доступность на рынке, оцениваются технические условия предоставления технологии ее вендорами. Оценка предложения включает в себя определение доли кастомизации программного продукта под нужды данной ПЛС. При внедрении технологии неизбежно или изменение бизнес-процесса под продукт, или кастомизация программного продукта под действующий бизнес-процесс. И та, и другая стратегия имеет право на существование, но если

более 80 % программного продукта необходимо менять, то реинжиниринг бизнес-процесса под методологию продукта предпочтителен.

В условиях высокой вариабельности и неопределенности результатов цифровой трансформации преимущества методология теории ограничений систем (ТОС) Э. Голдратта как механизма, обеспечивающего последовательность и качество реализуемых преобразований, представляется нам очевидной и неоспоримой. Ряд исследователей придерживаются того же мнения [230–232].

В основе поиска и выявления ограничений Э. Голдратт предлагает использовать метод «Пять направляющих шагов», идентичных циклу Шухарта «PDCA» («Plan-Do-Check-Act», «планирование – действие – проверка – корректировка»), который задает направление для повышения эффективности тактического и стратегического управления в системах различного типа. Процесс непрерывного улучшения в ТОС состоит из пяти шагов:

1) найти ограничение системы – это звено, ресурс, процесс, определяющий максимальную величину эффективности системы. Оно называется ресурсом, ограничивающим производительность (Capacity Constraint Resource, CCR);

2) решить, как максимально использовать ограничение системы. Создать перед ограничением постоянный защитный буфер, чтобы оно имело необходимые для работы материалы;

3) подчинить систему принятому решению. Остальные ресурсы должны работать со скоростью ограничения, не быстрее (это не увеличит объем выпуска системы, а лишь создаст дополнительные запасы) и не медленнее (израсходовав буфер, ограничение остановится). Оперативная информация о состоянии буфера должна учитываться на входе в систему для коррекции потока;

4) расширить ограничение системы. Мы рассматриваем на этом шаге альтернативы инвестирования в ограничение;

5) если ограничение устранено, вернуться к шагу 1.

Считаем, что необходим тщательный анализ того, как любая из технологий Индустрии 4.0 может обеспечить прирост прибыли, а также анализ возможных негативных последствий и разнообразного возможного ущерба [211]. Прирост прибыли бизнеса достигается, когда обеспечен прирост выручки (от увеличения объема продаж или доходности без существенного падения объемов продаж из-за повышения цены) либо затраты сокращаются без ущерба для качества исполнения заказов и качества продукции с точки зрения клиента.

Особенно эффективным методом анализа любого инструмента цифровой трансформации являются «Шесть вопросов к ценности новой технологии», разработанные Голдраттом. В ходе анализа необходимо дать ответ на следующие вопросы [233]:

1. В чем сила новой технологии? Формулируются возможности новой технологии в сравнении с более старыми.

2. Какие существующие ограничивающие факторы устраняет или сильно сокращает новая технология? Чтобы лучше понять чистую добавленную ценность новых решений, выделяется ограничивающий фактор, воздействующий на пользователя. Его преодоление – это источник ценности новой технологии.

3. Какие действующие правила использования ресурсов и технологий, привычки и паттерны поведения позволяют обойти существующие ограничивающие факторы? Понять степень инерции пользователей, когда им будет представлено новое решение.

4. Какие правила, привычки и паттерны поведения нужно изменить, чтобы извлечь выгоду от новой технологии? Требуется четкое понимание действий людей, бизнес-единиц при использовании технологии для извлечения максимальной ценности из новой технологии.

5. Как нужно применять новую технологию, чтобы можно было осуществить изменения и избежать сопротивления изменениям? Определить все негативные последствия и предложить пути их нивелирования.

6. Как создать, капитализировать и поддерживать бизнес? Оценить, обеспечивает ли план получения ценности от новой технологии синергетический эффект вместе с другими стратегическими усилиями.

По результатам анализа отбирают наиболее значимые для развития цифровые технологии, оценивают их совместимость. В проекте цифровой трансформации должны быть предусмотрены этапы моделирования трансформации системы от состояния «как есть» в состояние «как будет», создания прототипов, проведения опытной эксплуатации прототипов для апробации решений, их тестирования и улучшения, распространения технологии на все предприятие.

Процесс создания и верификации проекта освоения цифровых технологий в ходе цифровой трансформации ПЛС можно разделить на шесть этапов (рис. 5.5).

Этап 1. Исследование. Выполняется изучение действующей системы и ее пользователя, чтобы понять его желания и потребности, опыт и мотивацию. Результатом этапа является эмпатическое понимание клиента, удовлетворенность которого служит мерилom оценки качества системы.

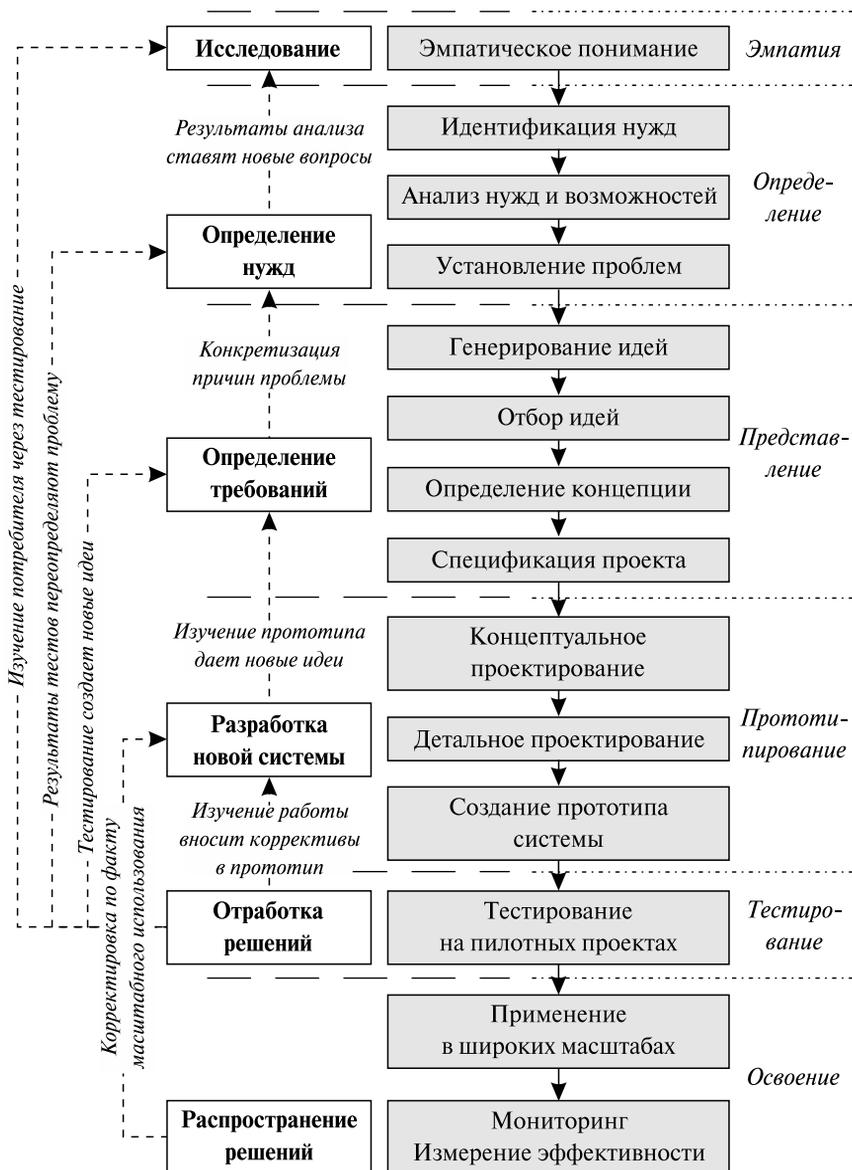


Рис. 5.5. Процесс создания и верификации проекта освоения цифровых технологий в ходе цифровой трансформации ПЛС

Источник: разработано автором на основе [150].

Этап 2. Определение нужд потребителя. Выполняется для постановки задачи, которую должна решать система исходя из потребностей и возможностей клиента.

Этап 3. Определение требований. Вырабатываются требования к новой системе, определяются идеи и инструменты трансформации, формулируется общее видение и концепция новой системы.

Этап 4. Разработка новой системы. Осуществляется проектирование спецификаций, концептуальное и детальное проектирование. Создается прототип системы.

Этап 5. Отработка решений. Выполняется тестирование созданной системы в рамках пилотных проектов. Осуществляется отработка применения технологии на узкой группе задач, выявляются и устраняются недочеты, корректируются инструкции и документация по эксплуатации.

Этап 6. Распространение решений. Выполняется перенос отработанной технологии на всю систему, а также ее коммерческое распространение. Проводится оценка достигнутых результатов и эффективности по факту применения.

Процесс проектирования осуществляется самоорганизующимися кросс-функциональными проектными группами. Для координации и синхронизации их деятельности, оптимизации сроков и затрат, а также повышения качества работы используются бережливые управленческие инструменты – проектирование на основе наборов (Set-Based Design), гибкое проектирование (Flexible Design), анализ и картирование потока создания ценности (Value Stream Analysis and Mapping), картирование процессов (Process Mapping) и управление воронками (Pipeline Management).

Методы проектирования ПЛС отражены на рис. 5.6. Процессы и инструменты сгруппированы в соответствии с моделью совершенствования DMAIC (определение, измерение, анализ, улучшение, управление).

В данном подходе воплощена философия непрерывного инжиниринга, принципы гибкого проектирования:

- акцентируется внимание на ценности для заказчика и нуждах бизнеса;

- образуется цепочка создания ценности – последовательность решений и получения новых знаний;

- выполняется увязка основанных на фактах решений в поток без потерь;

- применяется вытягивание – управление потоком только на основании реальных потребностей, гарантия функциональности за минимальную стоимость;

- обеспечивается совершенствование – постоянный нескончаемый процесс улучшения, движимая обучением организация.

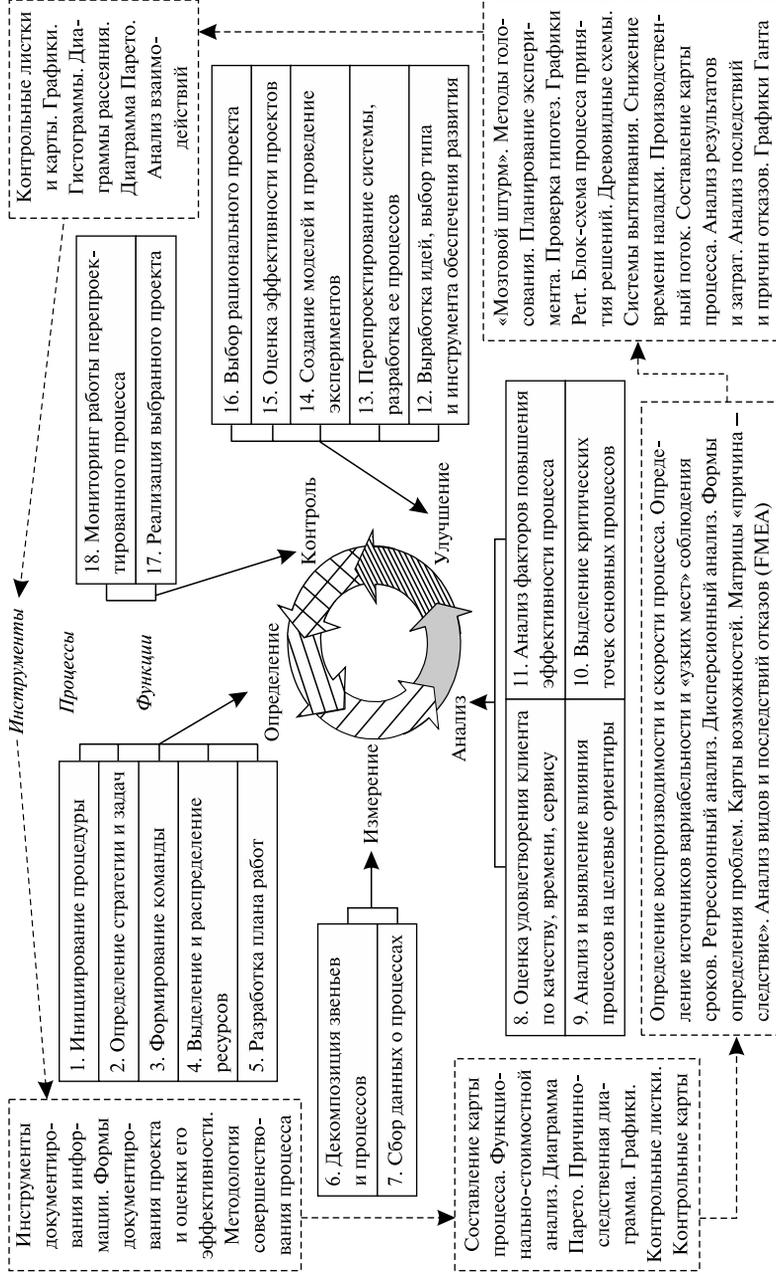


Рис. 5.6. Процессы и инструменты разработки проектов ПЛС

Источники: разработано автором.

Выполнение этапов не следуют в линейном порядке, поскольку должна быть налажена обратная связь между этапами. Они часто могут происходить параллельно и повторяться итеративно несколько раз в целях расширения пространства решений, причем цикл останавливается на наилучших возможных решениях.

Процесс проектирования ведется в условиях неопределенности и изменчивости. Он нацелен не только на создание новых ПЛС с высокой потребительской ценностью за счет развития, ориентированного на клиента, внедрения качественных функций, но и на ускорение времени выхода в эксплуатацию. Эта задача формулируется и решается на каждом из этапов проектирования, испытаний, совершенствования на основе результатов испытаний. Но именно время выхода в эксплуатацию и ее стоимость системы становятся более важными, чем технические характеристики системы, которые могут быть изменены в течение проектного времени.

5.5. Оценка эффективности проектов цифровой трансформации производственно-логистических систем

Оценка эффективности решений по цифровой трансформации ПЛС основывается на сопоставлении совокупного эффекта от ее функционирования к затратам на ее создание. Оценка затрат, как правило, не вызывает проблем, в отличие от эффекта. Одним из основных преимуществ цифровизации является снижение роли института традиционного посредничества и, соответственно, транзакционных, операционных, временных и иных издержек для субъектов. При этом сложно сформулировать неявный эффект, который выражается качественными составляющими (экономия времени, единая версия «правды», улучшение планирования и стратегии и т. п.), т. е. задачей становится анализ стоимости информации, предоставляемой системой, и перевод неизмеримых («неосязаемых») выгод от ЦП в денежное выражение.

Для оценки ИТ-решений существуют подходы различной степени адекватности поставленной задаче [172]: метод совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership, TCO) от Gartner Group; инвестиционный анализ (Cost Benefit Analysis, CBA); экспертные оценки (метод Дельфи, метод анализа иерархий); методы определения вероятности достижения целей ИТ-проекта, исходя из вероятности улучшения в бизнес-процессах компаний, в число которых входит метод прикладной

информационной экономики (Applied Information Economics, AIE) и метод реальных опционов (Real Options Valuation, ROV); методика TEI (Total Economic Impact) компании Forrester Consulting group; методика быстрого экономического обоснования REJ (Rapid Economic Justification) от Microsoft, а также анализ кейсов успешно реализованных проектов.

Оценка результатов базируется на анализе интегрального результата как совокупность эффектов:

- научно-технического (прирост научной информации, повышение технического уровня продукции, совершенствование технологии производства и оказания логистических услуг);

- организационно-производственного (улучшение трудовых, организационно-производственных показателей, повышение уровня адаптивности, гибкости, устойчивости системы);

- социального (улучшение условий труда, ликвидация существенных различий между умственным и физическим трудом);

- экономического, который отражает либо увеличение объемов производства, либо улучшение качества работы предприятия (прирост прибыли, повышение производительности труда, снижение себестоимости продукции, расширение ассортимента и улучшение качества продукции).

Считаем необходимым в оценке эффективности проектов цифровой трансформации ПЛС воплотить подходы к оценке стоимости бизнеса (предприятия). Стоимость бизнеса отражает объем дисконтированных денежных потоков, генерируемых данным предприятием (доходный подход, Income approach), либо объем затраченных на создание бизнес-системы средств как ее историческую стоимость (затратный подход, Asset based approach), либо стоимость воспроизводства подобной системы в существующих условиях (сравнительный подход, Market approach) [234, с. 14].

Стоимость ПЛС определяется доходным подходом, т. е. как суммарная стоимость денежного потока, созданного ПЛС и оставшегося в ее распоряжении. Тогда отношение полученной суммы к потребительской (исторической или восстановительной) стоимости ПЛС отразит, сколько процентов сверх стоимости активов готов переплатить покупатель за ценность ПЛС, ее деловую репутацию, престижность, выгодное место расположения, деловые связи, опыт работы сверх вложенных первоначально средств, т. е. за все то, что понимается под конкурентоспособностью предприятия и отражается понятием «гудвилл». Оценку эффективности проектов ЦТ ПЛС следует вести с использованием целевой функции эффекта – величины, генерируемой системой добавленной стоимости [235].

Оценочная величина эффекта от функционирования ПЛС за прогнозный период определяется как

$$ОЭ = \sum_{t=1}^n \frac{ДС_t}{(1+d_t)^t} + \frac{ДС_n(1+i)}{(d_n-i)(1+d_n)^{n+1}}, \quad (5.1)$$

где $ОЭ$ – оценочная величина эффекта от функционирования процесса за весь его жизненный цикл; n – прогнозный период, лет; $ДС_t$ – добавленная стоимость в году t прогнозного периода; d_t – ставка дисконта в году t прогнозного периода; i – ожидаемые долгосрочные темпы роста добавленной стоимости.

Величина совокупных дисконтированных инвестиций, направленных на создание системы, рассчитываются по формуле

$$СИ = \sum_{t=1}^n \frac{И_t}{(1+d_t)^t}, \quad (5.2)$$

где $СИ$ – совокупные дисконтированные инвестиции; $И_t$ – инвестиции в году t прогнозного периода; d_t – ставка дисконта в году t прогнозного периода.

Чистый дисконтированный эффект функционирования ПЛС как разница оценочной величины эффекта за весь ее жизненный цикл и совокупных дисконтированных инвестиций вычисляется по формуле

$$ЧДЭ = \left(\sum_{t=1}^n \frac{ДС_t}{(1+d_t)^t} + \frac{ДС_n(1+i)}{(d_n-i)(1+d_n)^{n+1}} \right) - \sum_{t=1}^n \frac{И_t}{(1+d_t)^t}, \quad (5.3)$$

где $ЧДЭ$ – чистый дисконтированный эффект функционирования ПЛС; n – прогнозный период, лет; $ДС_t$ – добавленная стоимость в году t прогнозного периода; d_t – ставка дисконта в году t прогнозного периода; i – ожидаемые долгосрочные темпы роста добавленной стоимости; $И_t$ – инвестиции в году t прогнозного периода.

Положительная величина чистого дисконтированного эффекта означает, что при внешнем финансировании реализация проекта ЦТ ПЛС позволит не только оплатить внешнее заимствование капитала, но и получить избыток, а при собственном – что инвестирование выгоднее, чем альтернативное вложение средств под процентную ставку, заложенную в расчет коэффициента дисконтирования.

Отношение оценочной величины эффекта от функционирования ПЛС – совокупной добавленной стоимости, генерируемой процессом

за его жизненный цикл, — к размеру совокупных дисконтированных инвестиций позволяет оценить в относительном выражении эффективность проекта

$$KЭ = \frac{OЭ}{СИ} = \left(\sum_{t=1}^n \frac{ДС_t}{(1+d_t)^t} + \frac{ДС_n(1+i)}{(d_n-i)(1+d_n)^{n+1}} \right) / \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+d_t)^t},$$

где КЭ — коэффициент эффективности проекта ПП; ОЭ — оценочная величина эффекта от функционирования ПЛС за весь ее жизненный цикл; СИ — совокупные дисконтированные инвестиции в организационно-техническую базу системы; t — номер года прогнозного периода; ДС — добавленная стоимость; d — ставка дисконта; i — ожидаемые долгосрочные темпы роста добавленной стоимости; I_t — инвестиции в году t прогнозного периода.

В формулах дисконтированного срока окупаемости и внутренней нормы рентабельности по проекту ЦТ ПЛС вместо чистого дохода применяется ДС, т. е. расчет ведется на основе формулы (5.3).

При обосновании принимаемого решения о реализации проекта ЦТ ПЛС не всегда возможно свести все условия, факторы и подлежащие оценке исходные параметры оптимизационных воздействий к показателям доходов и затрат, играющим решающую роль в нормативных однокритериальных моделях. Для учета целого ряда факторов слабо формализуемых в настоящее время, но существенных для формирования доходов и затрат в будущем, применяются *многофакторные модели*, которые позволяют представить многообразие воздействий проекта на состояние ПЛС, с одной стороны, и влияния внешней среды на проект — с другой. В качестве *системы критериев оценки* (показателей эффективности) выступает совокупность параметров, отражающих логистические показатели, финансово-экономические результаты, стратегические, социальные, экологические и другие эффекты, что позволяет учитывать многообразие взаимодействия внешней среды и ПЛС, производить мероприятия по снижению риска неблагоприятных последствий.

К логистическим критериям отнесем показатели раздела «производительность цепи поставок» по SCOR модели версии 12.0 в разрезе ее пяти групп атрибутов производительности цепи поставок.

1. Надежность (Reliability) функционирования цепи поставок: обеспечение доставки нужного продукта, в нужное время и место, в надлежащем состоянии и упаковке, нужного количества, с правильной документацией, нужному потребителю.

2. Оперативное реагирование (Responsiveness) – отклик цепи поставок на изменение спроса – оценивается через длительность логистических циклов, т. е. скорость прохождения товара по цепи поставки к потребителю.

3. Маневренность (гибкость, динамичность) цепи поставок (Agility) – темп, с которым цепь поставок реагирует на изменения ситуации на рынке в целях получения или сохранения конкурентных преимуществ.

4. Затраты цепи поставок (Cost) – издержки, связанные с операциями.

5. Эффективность управления активами в цепи поставок (Asset Management Efficiency) – эффективность управления активами в обеспечении удовлетворения спроса.

Разграничение различных сфер деятельности ПЛС позволяет выделить групповые критерии эффективности в соответствии со стандартными направлениями экспертизы проектных решений для инновационных проектов, которая включает в себя технический, маркетинговый, институциональный, социальный, экологический, финансовый, экономический анализ и анализ рисков [236; 237]. В модели разделен анализ внешней и внутренней среды в рамках институционального анализа, поскольку это затрагивает коммерческую и организационно-управленческую деятельность соответственно.

Многокритериальная методика оценки проектов цифровой трансформации ПЛС основана на балльно-рейтинговых оценках системы критериев эффективности, представленных в матричной форме. Оценка проектов выполняется на основе анализа матричных форм представления конкурирующих проектов ЦТ ПЛС поэтапно.

Э т а п 1. План – разработка программы анализа, формирование системы критериев оценки, утверждение групп экспертов, распределение полномочий и ответственности по программе, утверждение форм отчетности и записей.

Э т а п 2. Выполнение: 2.1) анализ уровня развития системы; 2.2) установление приоритетов развития системы; 2.3) оценка конкурирующих проектов; 2.4) выбор оптимального варианта проекта.

Э т а п 3. Контроль – анализ результатов оценки экспертной группы.

Э т а п 4. Действие – принятие оптимального проекта, его включение в бизнес-план предприятия для осуществления.

Программа оценки предусматривает решение следующих *задач*:

– формирование матрицы, характеризующей достигнутый на момент анализа уровень развития ПЛС по фиксированному набору критериев;

– выделение приоритетных направлений развития предприятия и установление весовых коэффициентов, отражающих степень различия

между идеальным и реальным состоянием системы путем преобразования матрицы состояния в матрицу коэффициентов;

– формирование набора конкурирующих проектов цифровой трансформации ПЛС, построение матричной формы оценочных и расчетных показателей проектов по фиксированному набору критериев эффективности, построение матрицы инвестиций по проекту;

– анализ параметров конкурирующих проектов цифровой трансформации ПЛС, нормализация матрицы значений для балльной оценки, корректировка матрицы баллов через весовые коэффициенты, формирование матрицы эффективности проекта через соотношения баллов проекта и размера инвестиций;

– анализ сформированных матриц по критерию оптимизации Гурвица со шкалой критерия пессимизма (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1), минимаксному и максиминному критериям оптимизации, сопоставление результатов, ранжирование конкурирующих проектов, выбор из них наиболее эффективного и формирование программы развития путем последовательного включения в нее проектов с высшими рангами в пределах инвестиционных возможностей предприятия в соответствии с видами оптимизационных воздействий на систему и целевыми приоритетами предприятия.

При *формировании группы экспертов*, распределении полномочий и ответственности по программе, утверждении форм отчетности и записей необходимо руководствоваться стандартами системы менеджмента качества. Так, рекомендуем устанавливать состав экспертов в соответствии с направлениями оценки, включая в группу владельцев бизнес-процесса и процессов первого и второго уровней, отвечающих требованиям: компетентность в сфере деятельности, образование, опыт производственной работы, опыт в оценке, личные качества.

Выбор оптимального варианта в условиях многокритериальной оценки требует применять специальные методы отбора, позволяющие сводить воедино и анализировать целый набор оценочных данных по проекту, численно не определенных, но оцененных в процессе экспертной оценки в баллах.

Анализ уровня развития предприятия как системы процессов рекомендуется проводить с использованием шкалы оценки, представленной в таблице.

На основе указанной шкалы оценки формируется матрица $S_t = (St_i)_{m_i}$, характеризующая достигнутый на момент анализа (t) уровень развития ПЛС по фиксированному набору критериев ($i = 1 \dots m$).

Рекомендуемая шкала оценки развития системы (процесса)

Значение	Степень развития	Характеристика уровня развития системы (процесса)
1–10	Практически равна 0	Процесс практически не функционирует, требует коренных преобразований и вмешательства высшего руководства
11–20	Неудовлетворительная	Процесс функционирует крайне не результативно, требует вмешательства высшего руководства
21–30	Незначительная	Процесс функционирует не результативно, требует вмешательства высшего руководства
31–40	Слабая	Процесс функционирует не результативно и требует разработки представителем высшего руководства значительных преобразований
41–50	Удовлетворительная	Процесс функционирует не результативно и требует разработки представителем высшего руководства значительных корректирующих действий
51–60	Средняя	Процесс функционирует не результативно и требует разработки представителем высшего руководства корректирующих действий
61–70	Хорошая	Процесс функционирует результативно, но требует разработки представителем высшего руководства корректирующих действий
71–80	Очень хорошая	Процесс функционирует результативно, но требует разработки представителем высшего руководства незначительных корректирующих действий
81–90	Высокая	Процесс функционирует результативно, но требует разработки представителем высшего руководства предупреждающих падение уровня действий
91–100	Отличная	Процесс функционирует результативно и не требует разработки каких-либо действий

Она сравнивается с матрицей идеального состояния системы $Sp = (Sp_i)_{m_i}$, в которой $Sp_i = 100$, т. е. выполняется соотношение:

$$(S_{it})_{m_i} \leq (Sp_i)_{m_i},$$

где S_{it} – состояние системы на момент времени t по i -му критерию; Sp_i – идеальное состояние системы по i -му критерию.

Формируется матрица приоритетных направлений развития предприятия – матрица весовых коэффициентов $\beta_t = (\beta_{it})_{m1}$ по формуле

$$\beta_{it} = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^m R_i} = \frac{Sp_i - S_{it}}{\sum_{i=1}^m (Sp_i - S_{it})},$$

где β_{it} – весовой коэффициент по i -му критерию на момент времени t ; R_i – резерв развития системы по i -му критерию; Sp_i – идеальное состояние системы по i -му критерию; S_{it} – состояние системы на момент времени t по i -му критерию.

Коэффициенты определяются как соотношение резерва развития системы по каждому фактору к общему суммарному резерву системы и отражают степень различия между идеальным и реальным состоянием системы на момент анализа. Так, соотношение выставленной экспертом оценки и максимально возможного значения уровня развития позволяет выявить резерв развития и указать наиболее критические направления совершенствования через проект развития ПЛС.

В модели анализируется совокупность критериев, оценка которых может производиться как на основе экспертиз, так и результатов аналитических расчетов. Это позволяет сформировать матрицу значений критериев $P = (P_{ji})_{nm}$, характеризующих имеющийся набор конкурирующих проектов ($j = 1 \dots n$) по фиксированному набору критериев ($i = 1 \dots m$).

Каждый проект характеризуется также объемом инвестиций, что позволяет получить матрицу инвестиций $I = (i_{ij})_{1n}$ в разрезе имеющегося набора конкурирующих проектов ($j = 1 \dots n$).

Оценка матричных форм может осуществляться по следующим правилам.

1. Правило абсолютного победителя – применяется, когда среди конкурирующих проектов можно однозначно выделить один наилучший по всем значениям параметров, т. е. соблюдается следующее равенство:

$$\sum_{i=1}^n v(r_i, r_i^*) = n,$$

где $v(r_i, r_i^*) = \begin{cases} 1, & \text{если } \dots r_i \geq r_i^* \\ 0, & \text{если } \dots r_i < r_i^* \end{cases}$ функциональная зависимость i -го критерия;

n – количество критериев; r_i – значение i -го критерия; r_i^* – пороговое (нормативное) значение i -го критерия.

Оценивать такую ситуацию достаточно легко, но данный метод имеет большой недостаток: она редко встречается в реальной жизни.

2. Правило выбора по Парето предусматривает проверку методом парного сравнения отдельных проектов на соответствие критерию Парето, который заключается в следующем: наилучшим является тот объект, для которого не существует другого объекта по всем показателям не хуже его, а хотя бы по одному лучше.

3. Правило выбора по методу Борда предусматривает более жесткий критерий выбора: варианты ранжируются по каждому показателю в порядке убывания с присвоением им соответствующих значений ранга, затем подсчитывается суммарный ранг по каждому из проектов. Победителем процедуры выбора становится проект с максимальным значением суммарного ранга. Главным недостатком данного метода является незаконный переход от шкалы значений показателей к относительной шкале рангов, сложность ранжирования проектов при одинаковых значениях показателей. Для устранения этого недостатка применим два вида преобразований.

Преобразование 1: нормализация матрицы значений критериев. Используемые критерии имеют разные единицы измерения, а нормативы эффективности для ряда из них (например, финансово-экономических – прибыль, срок окупаемости и т. д.) устанавливаются численно, но имеют различные единицы измерения. Некоторые критерии оцениваются по принципу «наличие или отсутствие», например признание сроков достижения поставленных целей приемлемыми для субъекта. Вследствие этого необходимо привести разноразмерные критерии в сопоставимый вид, к единой системе единиц путем линейных преобразований через нормализацию матрицы значений критериев, используя следующие расчетные формулы:

$$B_{ij} = \frac{P_{ij}}{\max_i P_{ij}}, \quad (5.4)$$

$$B_{ij} = \frac{\min_i P_{ij}}{P_{ij}}, \quad (5.5)$$

где B_{ij} – балл по i -му критерию, полученный j -м проектом; P_{ij} – показатель по i -му критерию, полученный j -м проектом.

В формуле (5.4) учитывается, что увеличение значение i -го критерия (например, чистая прибыль, рентабельность) способствует росту эффективности ПП, а в формуле (5.5), что увеличение значение i -го критерия приводит к снижению эффективности ППС (например, риск, затраты на страхование).

Так формируется *матрица баллов* $B = (B_{ji})_{nt}$. Указанное преобразование позволяет перейти от шкалы значений показателей к относительной шкале баллов и устранить невозможность суммирования значения критериев для получения интегральной оценки эффективности проекта развития ПЛС.

Преобразование 2: корректировка матрицы баллов через матрицу весовых коэффициентов. Степень достижения цели реализации проекта развития ПЛС оценивается с позиции создания условий для продолжения и улучшения процесса функционирования системы. Принципиальная многокритериальность задачи совершенствования ПЛС указывает на недостижимость совершенства по всем критериям одновременно, поэтому необходимо учитывать значимость того или иного критерия для реализации цели проекта через весовые коэффициенты.

Основными методическими трудностями применения на практике многокритериальных моделей признается проблема адекватного и объективного назначения весовых коэффициентов. Учитывая, что традиционно величина весовых коэффициентов назначается экспертным путем и возможно существенное субъективное влияние мнения конкретного эксперта, в разработанной модели назначение весовых коэффициентов осуществляется следующим образом.

Анализ уровня развития предприятия как системы процессов позволяет сформировать *матрицу приоритетных направлений развития ПЛС* – весовых коэффициентов $\beta_i = (\beta_{t_i})_{m_i}$, определяемых как соотношение резерва развития системы по каждому фактору к общему суммарному резерву системы, отражающих степень различия между идеальным и реальным состоянием системы на момент анализа. Так, наибольший весовой коэффициент назначается для критерия, степень невыполнения которого максимальна, что соответствует наименее развитому и наиболее важному для совершенствования предприятия направлению. Весовой коэффициент, отражая степень различия между желаемым и реальным состоянием и предопределяя приоритетные цели развития, корректирует количественное значение критерия эффективности. Его назначение указанным образом видится более объективным. Оно позволяет объединить в многокритериальной модели различные подходы к трактовке понятия эффективность: количественный – эффективность как соотношение результатов и затрат; целевой – как степень достижения цели, соотношенная со степенью рациональности расходования используемых при этом ресурсов; стратегический – как степень различия между реальным и желаемым результатом. В предлагаемой модели решение мето-

дических проблем назначения весовых коэффициентов ограничено достаточным ресурсным обеспечением (квалифицированный персонал, время и деньги), которое необходимо для обработки информации и анализа целого комплекса критериев.

Значения полученных по каждому из проектов баллов умножаются на весовые коэффициенты, что позволяет получить матрицу условных выигрышей $V = (v_{ji})nm$, в которой элементы рассчитаны по формуле

$$v_{ji} = B_{ji} \cdot \beta_{i1},$$

где v_{ji} – условный выигрыш по i -му критерию при реализации j -го проекта; B_{ji} – балл, полученный j -м проектом по i -му критерию; β_{i1} – весовой коэффициент по i -му критерию.

Риск как последствия ошибочного решения определяем как условные потери (неполучение выигрыша) в случае непринятия проекта, обеспечивающего максимальный выигрыш. Это позволяет сформировать матрицу риска $R = (r_{ji})nm$, в которой элементы вычисляются как

$$r_{ji} = \max_i v_{ji} - v_{ji},$$

где r_{ji} – риск по i -му критерию при реализации j -го проекта; v_{ji} – условный выигрыш по i -му критерию для j -го проекта.

Если элементы матрицы условных выигрышей $V = (v_{ji})nm$ разделить на элементы матрицы инвестиций $I = (I_{1j})1n$, то полученная матрица удельных выигрышей $W = (w_{ji})nm$ отразит размер условного выигрыша на единицу затрачиваемых инвестиций. Формула для расчета элементов в данной матрице имеет вид

$$w_{ji} = \frac{v_{ji}}{I_{1j}},$$

где w_{ji} – удельный выигрыш по i -му критерию при реализации j -го проекта; v_{ji} – условный выигрыш по i -му критерию для j -го проекта; I_{1j} – инвестиции на осуществление j -го проекта.

Произведение матрицы баллов $B = (B_{ji})nm$ и матрицы весовых коэффициентов $\beta_i = (\beta_{i1})m_1$ дает матрицу интегрального эффекта $\Theta = (\Theta_{j1})n1$, в которой элементы рассчитываются по формуле

$$\Theta_{j1} = \sum_{i=1}^m B_{ji} \beta_{i1},$$

где Θ_{j1} – интегральный эффект j -го проекта; B_{ji} – балл, полученный проектом по i -му критерию; β_{i1} – весовой коэффициент по i -му критерию.

Матрица коэффициентов эффективности проектов $KЭ = (KЭ_{j1})_{n1}$ определяется через деление элементов матрицы интегрального эффекта $Э = (Э_{j1})_{n1}$ на элементы матрицы инвестиций $I = (I_{1j})_{1n}$ по формуле:

$$KЭ_{j1} = \frac{Э_{j1}}{I_{1j}},$$

где $Э_{j1}$ – интегральный эффект j -го проекта; I_{1j} – инвестиции на осуществление j -го проекта.

Для ранжирования и выбора наиболее эффективного проекта ЦТ ПЛС используются сформированные промежуточные матрицы условных выигрышей, риска и удельных выигрышей и итоговые матрицы интегрального эффекта, риска и коэффициентов эффективности проектов.

Анализ промежуточных матриц условных выигрышей и удельных выигрышей (размерностью $n \times m$, где n – количество проектов, m – количество критериев) осуществляется по нескольким критериям оптимальности.

Рациональным вариантом является использование в расчетах критерия оптимизации Гурвица со шкалой критерия пессимизма (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1):

$$j = \max_j \left\{ \alpha \min_k F_{kj} + (1 - \alpha) \max_k F_{kj} \right\},$$

где j – номер оптимального проекта; α – коэффициента пессимизма ($0 < \alpha < 1$); F_{kj} – оценка j -й альтернативы применяемого решения при k -м варианте ситуации.

Выделяется три стратегии принятия оптимизационных решений:

- при $\alpha = 0$ и $\alpha = 0,25$ – стратегия «крайнего оптимизма» (максимаксная), надежда на максимальный выигрыш;
- при $\alpha = 0,5$ – стратегия компромиссного, среднего решения по принципу «не впадать ни в крайний пессимизм, ни в неоправданный оптимизм»;
- при $\alpha = 0,75$ и $\alpha = 1$ – пессимистическая стратегия. При $\alpha = 1$ критерий Гурвица превращается в максиминный критерий Вальда отражающий стратегию ориентации на наихудшие условия, «перестраховочный подход», рассматривается как крайний случай.

Промежуточная матрица риска $R = (r_{ji})_{nm}$ анализируется по критерию Гурвица при условии минимизации риска ошибочных решений:

$$j = \min_j \left\{ \alpha \max_i r_{ij} + (1 - \alpha) \min_i r_{ij} \right\},$$

где j – номер оптимального проекта; α – коэффициента пессимизма $0 < \alpha < 1$; r_{ji} – риск по i -му критерию при реализации j -го проекта.

Матрица риска также анализируется с применением критерия Сэвиджа, который ориентирует на оптимальное решение, обеспечивающее минимальное значение максимального риска:

$$j = \min_j \max_i r_{ji},$$

где j – номер оптимального проекта; r_{ji} – риск по i -му критерию при реализации j -го проекта.

Итоговые матрицы интегрального эффекта и коэффициентов эффективности проектов (размерностью $n \times 1$, где n – количество проектов) ранжируются по максиминному критерию. Исходя из совпадения результатов, делается определенный вывод о стратегии принятия оптимизационного решения, что дает наиболее объективную оценку.

Отбор осуществляется через ранжирование проектов по максиминному критерию оптимизации интегрального показателя эффективности проекта, который определяется по формуле

$$\Theta_j = \sum_{i=1}^k \frac{P_{ji}}{\max_i P_{ji}} \beta_i + \sum_{i=k+1}^n \frac{\min_i P_{ji}}{P_{ji}} \beta_{i1} \Big/ I_j,$$

где Θ_j – интегральный показатель эффективности j -го проекта; k – количество критериев из n -возможных, для которых увеличение значения i -го критерия способствует росту эффективности ПП; P_{ji} – показатель по i -му критерию полученный j -м проектом; β_{i1} – весовой коэффициент по i -му критерию; I_j – инвестиции на осуществление j -го проекта.

При классическом подходе к риску каждое альтернативное решение по проекту развития ПЛС может быть представлено как случайная величина в формате конечного экономического результата, которая характеризуется двумя параметрами: математическим ожиданием (m); среднеквадратическим отклонением (σ).

При принятии решений в ситуациях риска лицо, принимающее решение (ЛПР), может выразить свое отношение к риску как осторожное, склонное к риску и нейтральное. Осторожность к риску выража-

ется в том, что чем меньше величина среднеквадратического отклонения дохода альтернативы, тем лучше для ЛПР (при фиксированном математическом ожидании). Указанное обстоятельство обусловливается стремлением такого ЛПР выбирать альтернативу с наименьшим возможным разбросом величины конечного результата и обеспечить наиболее надежный доход из возможных при заданном его среднем ожидаемом значении. При заданном отношении к риску ЛПР может изменять баланс между риском и ожидаемым доходом в формате конечного предложения бизнеса [238]. ЛПР может использоваться метод дерева решений. При оптимизации решения при нейтральном отношении к риску используется критерий ожидаемого значения (Expected value criterion, EVC):

$$EVC = f(\sigma_x; m_x) = m_x = \sum_{i=1}^n p \cdot X_i \rightarrow \max,$$

где m_x – математическое ожидание; p – вероятности достижения конечного результата применительно к соответствующей ветви (цепи) дерева решений; X_i – числовые значения конечного результата для i -й ветви.

Решения выбираются по критерию максимума ожидаемого результата.

Анализ конкурирующих проектов позволяет сформировать программу развития ПЛС путем последовательного включения в нее проектов с высшими рангами в пределах инвестиционных возможностей предприятия. При формировании программы также учитывается вид оптимизационных воздействий на систему (улучшающие главную функцию ПЛС, ресурсосберегающие, комбинированные, негативные) и целевые приоритеты предприятия (гибкость, устойчивость, адаптивность, ресурсосбережение, сохранность ликвидности, отсутствие риска и др.).

5.6. Риски цифровой трансформации производственно-логистических систем и пути их снижения

Технологии и персонал являются основным источником рисков при цифровой трансформации ПЛС.

Применение инновационных информационно-компьютерных технологий, новых сверхскоростных каналов связи изменяет поле рисков и порождает новые рисковые ситуации, не поддающиеся прогнозированию

и количественной оценке. Изменяется роль цифровых потоков в ПЛС. Если раньше информационные потоки являлись «отражением» действительности и выполняли учетную и аналитическую функцию, а при потере данных и сбое в работе информационной подсистемы ПЛС сохраняла свою целостность, можно было перейти на «ручной» режим управления, то в новых условиях цифровой поток обретает статус приоритетности над прочими. В ПЛС цифрового типа все сделки происходят в цифровом пространстве в бизнес-приложениях, т. е. информационная подсистема сама становится реальностью. Поэтому при сбое информационной подсистемы может наступить полный коллапс ПЛС.

В этой связи к понятию «информационная безопасность», базирующемуся на безопасности информационно-телекоммуникационных систем, добавилось понятие «кибербезопасность», которое в ISO/IE С 27032:2012 трактуется как «...условия защищенности от физических, духовных, финансовых, политических, эмоциональных, профессиональных, психологических, образовательных или других типов воздействий или последствий аварии, повреждения, ошибки, несчастного случая, вреда или любого другого события в киберпространстве, которые могли бы считаться не желательными» [239].

Н. И. Касперская, глава рабочей группы программы «Цифровая экономика» по направлению «Информационная безопасность» к числу рисков внедрения цифровых технологий относит [97]:

- навязываемое заимствование западных технологий;
- уязвимости, связанные со слежкой, потерей тайны личной жизни;
- захват рынка мощными транснациональными компаниями;
- потерю рабочих мест, возникновение социальной напряженности;
- возникновение новых этических проблем, рост мошенничества в киберпространстве, снижение качества и ответственности принимаемых решений, рост социального отчуждения;
- исчезновение приватности, появление навязчивой рекламы, утечку персональных данных граждан за границу к ведущим иностранным игрокам (Amazon, Apple, Facebook, Google, Microsoft).

В числе основных угроз ЦТ следует указать кибербезопасность (кибертерроризм, кибершпионаж, кибервойны и киберпреступность) [240, 241]. Утечки информации, мошенничество, кража личных данных, реальных денег и токенов или биткоинов из электронного кошелька, хакерские атаки, создание поддельных доменов известных фирм и брендов, фальшивых платежных систем, терминалов – далеко не полный перечень реальных угроз.

Наиболее распространенные киберпреступления [242]:

- заражение вирусом или другая угроза безопасности;
- мошенничество с дебетовыми или кредитными картами;
- хищение информации и персональных данных пользователя;
- подверженность риску пароля учетной записи;
- несанкционированный доступ или взлом электронной почты или учетной записи в социальных сетях;
- совершение онлайн-покупки по мошеннической схеме;
- предоставление конфиденциальной (личной/финансовой) информации на мошеннический адрес электронной почты.

Для аддитивного производства (АП) характерны следующие технические и экономические барьеры, препятствующие его широкому распространению:

- свойства материала (детали часто имеют анизотропные свойства, что обусловлено послойной природой АП-процессов; выбор материалов для АП весьма ограничен);
- точность изготовления и качество поверхности деталей (практически все АП-процессы требуют последующей механообработки в местах сочленений, посадочных мест валов и т. д.);
- скорость изготовления (ограничена мелкосерийным производством);
- высокие капитальные вложения;
- высокая стоимость материалов и обслуживания (АП-процессы требуют специальных форматов материалов, которые могут быть дороже традиционных (листы, профили и т. п.) в 100–200 раз; оборудование АП все еще несовершенно);
- отличия в геометрии и свойствах между «идентичными» деталями, изготовленными на разных установках;
- закрытая архитектура большинства АП-установок, что не позволяет исследователям и технологам варьировать условия обработки.

Основными угрозами в реализации цифровой трансформации можно считать инвестиции в технологии, которые не дают значительной отдачи, и неадекватную оценку эффективности технологии с точки зрения ее вклада в создание ценности для клиента. Основными препятствиями ЦТ являются унаследованные ключевые технологии, на базе которых построена ИТ-инфраструктура ПЛС. Возникают риск прерывания главных бизнес-процессов при любом изменении унаследованной системы и большие расходы на ее изменение, в том числе из-за нехватки обученного персонала и отсутствия четкого плана миграции бизнес-критичных приложений. Препятствием является отсутствие системности во внедрении технологий, поддержки руководства, понимания реализуемых процессов, а также излишний оптимизм и непонимание эффекта отторжения нововведений.

При формировании команд по цифровой трансформации в организациях препятствием становится отсутствие кадров, неправильное определение целей в команде.

Персонал выступает одним из важнейших факторов риска цифровой трансформации ПЛС.

Технологические угрозы связывают с дисбалансом кадрового обеспечения: быстрым ростом числа внештатных сотрудников-фрилансеров, появлением новых «цифровых» профессий, разрывом в цифровых знаниях между различными поколениями. Угрозой становится и деградация естественного интеллекта: распространение клипового мышления, вытесняющего мыслительные практики, восходящие к логике и традиционной грамотности; рост интеллектуально-психической зависимости от электронных устройств (аутсорсинг функции памяти гаджетам); стирание граней между действительностью и иллюзиями. Возможность анализировать большие данные (Big Data) в цифровую эпоху к традиционному вещественному хордингу (порочная страсть собирать все подряд от англ. hoard – «запас») добавляет цифровой (Digital Hoarding), им могут страдать как отдельные личности, так и целые предприятия и организации.

Следует согласиться с оценкой специалистов [243], что при внедрении технологий в ПЛС наряду с экономическими трансформациями – повышение производительности труда, энергоэффективности производств, автоматизации и роботизации процессов, стирание границ между отраслями и видами деятельности – наступают и социальные. В их числе высвобождение персонала, усложнение компетенций работников, развитие новых форм занятости, интеллектуализация труда, рост конкуренции среди интеллектуалов, увеличение образованной безработицы, устранение профессий с монотонным умственным трудом, рост роли женщин в экономической жизни в качестве рабочей, появление новых профессий и специальностей, развитие самозанятости и множественной занятости.

Смещение личной и профессиональной идентификации и компетенций становится нормой, постепенно стандартное рабочее место заменяется проектной работой с множеством задач и направлений деятельности, технологизации, виртуализации и информатизации труда, рабочего места и функций [244]. Необходимы новые компетенции для успешного выполнения работы в формирующихся условиях. Так, по результатам исследования «Россия 2025: от кадров к талантам» [245], подготовленного совместно ВСГ, WorldSkills Russia и Global Education Futures при поддержке Сбербанка, компетенции персонала сгруппированы в три блока, как показано на рис. 5.7.

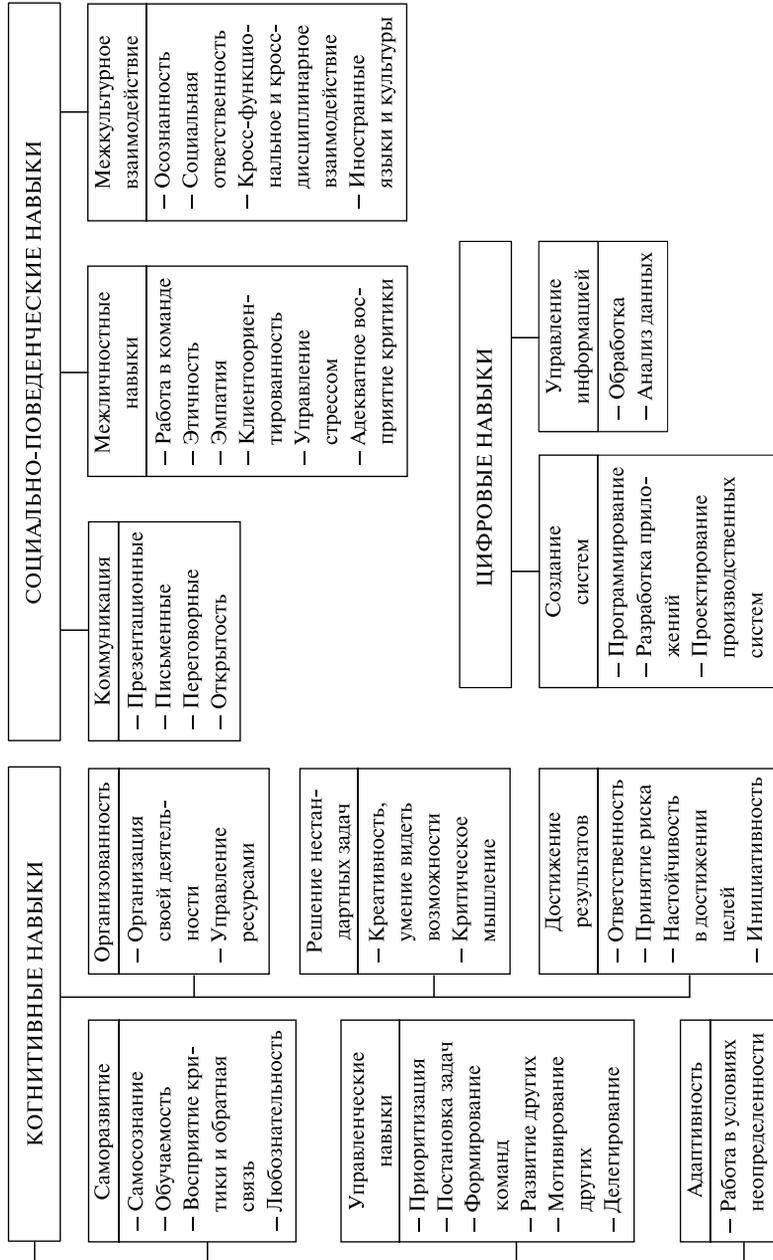


Рис. 5.7. Целевая модель компетенций 2025 г.

Источники: [245].

Выделим специальный набор компетенций по управлению информационным потоком в цифровой логистике и разработке аналитических приложений по оптимизации логистических процессов и совершенствованию логистической деятельности на разных уровнях управления:

- системный взгляд на логистику и УЦП, владение методами и инструментами поддержки интегрированного планирования и контроллинга деятельности контрагентов в ЦП;

- поддержка SCM-решений, формирование IT-архитектуры управления цепями поставок на основе e-SCM;

- владение современными инструментами моделирования и методиками дизайна, стратегического планирования ЦП, реинжиниринга;

- способность решать прикладные задачи стратегического уровня и планирования с применением технологий бизнес-аналитики, интеллектуальных информационных систем и систем управления знаниями;

- уверенное и эффективное использование интернет-технологий, технологий VR и AR, машинного обучения и ИИ, нейротехнологий;

- критическое и аналитическое мышление, умение превращать идеи в действия через творчество, инновации и оценку рисков, а также способности планировать и управлять проектами;

- личностные качества (Softskills), инициативность, ответственность, адаптивность, инновационность, предприимчивость, эмоциональный интеллект, способность выстраивать межкультурные сетевые коммуникации, учиться и совершенствоваться;

- готовность работать в мультикультурной среде, предлагать новые креативные решения, открытость к совместной деятельности в распределенных мобильных командах.

Тенденция в использовании работодателями не только профессиональных, но и личностно-психологических качеств и способностей человека приводит к смене запроса с профессиональных навыков на широкий круг лингвистических и познавательных способностей, гарантирующих быстроту реакции работника на инновации, приспособляемость. От современного работника требуется полная самоотдача, граница между рабочим и личным временем размывается. При этом наемному работнику предоставляется свобода в управлении профессиональными навыками, квалификацией, способностями. Наделенный относительной автономией работник должен сам гарантировать свой доход за счет самоменеджмента эффективности своего труда, обеспеченной выстроенными соответствующим образом системами мотивации и стимулирования [244].

Проведенные исследования позволили выделить основные стратегии в управлении персоналом производственно-логистических систем на этапе перехода к цифровой экономике [246]:

- найм персонала, обладающего необходимыми навыками для работы с технологиями Индустрия 4.0;
- переобучение существующих сотрудников, повышение квалификации и перепрофилирование персонала исходя из требований новых технологий;
- сокращение персонала, «мягкая» роботизация и полная автоматизация рабочих задач;
- использование новых форм занятости и способов организации работ.

Цифровизация трудовых процессов дает возможность организовать удаленную работу, использовать нестандартные формы занятости, такие как инсорсинг, аутсорсинг, фрилансинг, краудсорсинг.

В результате наших исследований сформулирован подход к формированию новых компетенций и навыков, организации обучения и переподготовки персонала, его адаптации к цифровой экономике, который заключается в следующем [246–248]:

- интеграция общего и дополнительного образования;
- модульное построение образовательных программ;
- образование по требованию (learning on demand);
- комбинация аудиторного и удаленного взаимодействия (в сетях, учебных платформах);
- проектная, учебно-исследовательская, практико-ориентированная деятельность в рамках обучающих программ;
- гибкость и адаптивность персонализированных образовательных программ, выстраивание персональных образовательных траекторий (в перспективе на основе анализа больших данных);
- широкое использование современных образовательных технологий в образовательном процессе (сетевых, цифровых, Интернет, прорывных, технологий визуализации и др.);
- непрерывное обновление образовательного контента и технологий.

Перед учреждениями образования стоит задача обеспечения доступа преподавателей и студентов как пользователей к современным программам, используемым в цифровой логистике [249]. Формирование актуальной и информационно-образовательной среды должно идти по пути тесной взаимосвязи в триаде «вуз – логистическая компания – поставщик/разработчик IT-сервисов и программ». Работа в альянсах бизнеса

и образования созвучна идее Smart-образования. Фирма-разработчик может выступать интегрированным участником образовательного процесса, создавать на базе вуза выделенное подразделение по продвижению собственных разработок среди пользователей. Вуз, располагая достаточной материальной базой и кадровым составом, способным качественно обучить студента/магистранта использовать программы, контролировать его прогресс, разъяснять и мотивировать, становится полноправным участником симбиоза.

Отторжение инноваций связано с неготовностью предприятий к внедрению и адаптации из-за недостаточной компетентности. Цифровая трансформация требует наличия специалистов, способных использовать функционал цифрового бизнеса. Для прототипирования продуктов и моделирования бизнес-процессов создаются и активно работают специальные пространства – мобилизаторы, которые наследуют функционал и культуру стартапакселераторов. Это мейкерспейсы, хакспейсы, инкубаторы, фаблабы, техшопы, акселераторы, инкубаторы, инновационные лаборатории, корпоративные центры инноваций и коворкинги [130]. Апробацию и верификацию технологий, валидацию разработанных продуктов должны проводить центры тестирования и виртуальные полигоны.

Инжиниринговые центры выступают важнейшим инфраструктурным элементом, необходимым для эффективной цифровой трансформации.

В современной практике инжиниринг состоит в предоставлении услуг исследовательского, проектно-конструкторского, расчетно-аналитического, производственного характера, включая подготовку обоснования инвестиций, выработку рекомендаций в области организации производства и управления, а также реализации продукции. Функциями инжиниринговых организаций являются [250]:

- анализ технологий, созданных в результате проведения фундаментальных и прикладных исследований, их адаптация к конкретным условиям производства;

- разработка конструкторской документации, проведение необходимых расчетов, связанных с производством новых видов продукции;

- изготовление опытно-экспериментальных образцов и их доведение до стадии промышленного освоения, обеспечение соответствия требованиям потребителя;

- организационно-технологическая подготовка производства при создании производств «под ключ»;

– наладка и освоение технических процессов, обоснование выбора необходимого оборудования и оснастки, сырья, материалов и компонентов;

– разработка и освоение управляющих программ для оборудования, обучение персонала.

В мире востребованы гибкие инжиниринговые команды, которые могут включиться в проект на самой ранней стадии его разработки – концептуального решения. Высокотехнологичный бизнес требует, чтобы инженер владел более широким спектром ключевых компетенций, чем узкоспециализированное освоение научно-технических и инженерных дисциплин. Новые технологии, комплексные системные мегапроблемы, возникающие в современном обществе, а также реализация новых парадигм – суперкомпьютерный инжиниринг, имитирование и моделирование как основа проектирования, цифровое прототипирование – требуют создания мультидисциплинарных команд специалистов с широким интеллектуальным диапазоном, обладающих ключевыми компетенциями мирового уровня по широкому спектру направлений, а не «замкнутых» в рамках традиционных инженерных дисциплин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование теоретико-методологических аспектов развития производственно-логистических систем различного уровня позволило сформулировать следующие выводы и рекомендации.

1. Определено понятие *«производственно-логистическая система»* — 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, обеспечивающих придание им количественных параметров и качественных характеристик в соответствии с требованиями внешней среды.

2. ПЛС являются сложными технико-экономическими системами смешанной природы из-за участия в ней людей, машин, устройств и действуют под влиянием природной среды и возмущающих отклонений как с элементами неопределенности, так и по заданному алгоритму, что определяет тенденцию их полной автоматизации для устранения человеческого фактора и непредсказуемости.

3. Объектом управления в системе выступают потоки, которые генерируются, преобразуются и поглощаются, могут сходитьсь, разветвляться, дробиться, изменять свое содержание и параметры. Целенаправленное изменение параметров потоков (объем, скорость, направление движения) и качественных его характеристик выполняется для максимального удовлетворения потребности рынка в конкретном товаре, информации о товаре, возможностях его приобретения.

4. Разделение системы на подсистемы, разветвленная структура и значительное количество взаимосвязанных и взаимодействующих элементов (подсистем) усложняют ее развитие, выдвигая проблему интероперабельности, сопряженности и равномерности улучшения на первый план.

5. Необратимое направленное закономерное изменение производственно-логистических систем, в результате которого возникает их новое качественное состояние, определяется внешней средой, уровнем развития технологий и способами организации труда персонала. Их изменение идет закономерно и циклично. Смена технологических укладов определяет и этапы развития производственных систем. Информационный этап связывается с освоением технологий V и VI технологических укладов.

6. Поэтапное формирование и применение принципов научной организации труда и производства знаменует три эпохи развития организации производства: тейлоризм, фордизм, тойотизм. Эпоха автономизации производственных систем, свидетелями которой мы являемся, развивается по пути перехода от гибких систем (автоматизированных), созданных в результате автоматизации производства, использования станков с ЧПУ, к системам интегрированным (киберфизическим), где производство интегрировано с обслуживанием жизненного цикла изделия.

7. Наиболее передовой системой производства является система Умного производства (Smart Manufacturing System), создание которой связывается с интенсивным и всеобъемлющим использованием сетевых информационных технологий и киберфизических систем на всех этапах производства продукции и ее поставки.

8. Выделение общих черт в определении цифровой экономики позволило дать следующее ее определение: цифровая экономика (digital economy) – это система экономических, социальных и культурных отношений, возникающих в процессе создания, распространения и использования технологий сбора, хранения, обработки, поиска, передачи и представления данных в электронном виде (цифровых технологий) и связанных с ними продуктов и услуг.

9. Структурные изменения ПЛС за счет внедрения цифровых технологий являются ответом на вызовы четвертой промышленной революции. Технично-технологическим ядром четвертой промышленной революции выступает промышленный Интернет вещей, искусственный интеллект, облачные технологии, робототехнические, киберфизические системы.

10. Цифровая трансформация экономики как процесс перехода к цифровой форме создает новые условия функционирования производственно-логистических систем. На примере одной из ведущих экономики мира – экономики Китая – выделены основные процессы трансформации и их причины. Изменение модели поведения и потребления людей привело к росту интернет-торговли, мобильных платежей, коммуникаций через мобильные приложения, интернет-маркетинга. Прирост циф-

ровой экономики Китая обусловлен в большей мере динамикой перевода традиционных секторов экономики в цифровую форму (с 10 % ВВП в 2008 г. до 25 % в 2017 г.), чем ростом сектора ИТК, включая электронную промышленность, индустрию коммуникации и ИТ, программное обеспечение, ИТ-сервис. И если первая волна цифровой трансформации касалась торговли, маркетинга, клиентского опыта и базировалась на росте рынка пользователей Интернета, то вторая волна сместила акценты с коммерции на производство. Важнейшим приоритетом инвестирования является Умное производство, автономные операции, роботизированные системы производства, управление грузоперевозками, цифровая оптимизация цепочки поставок. Этот факт еще раз подчеркивает актуальность разработки теоретико-методологических аспектов цифровой трансформации производственно-логистических систем.

11. Нами определено, что *цифровая трансформация ПЛС* – это преобразование структур, форм и способов, целевой направленности деятельности ПЛС за счет освоения инновационных и цифровых технологий, результатом которого является создание цифровой ПЛС, где бизнес-модели, жизненные циклы и бизнес-процессы построены на первичности цифрового представления ее основных продуктов и услуг. Такой переход необходим для достижения максимального уровня актуальности данных, а также быстрого эффективного клиентоориентированного реагирования.

12. Цифровая трансформация ПЛС связывается нами с построением ПЛС Умного производства как социокиберфизической системы, которая призвана включить в себя инструменты предыдущих поколений ПС и стать передовой системой производства. Цель новой парадигмы бизнеса – создание полностью автоматизированного цифрового производства. Такой бизнес требует управления в режиме реального времени в постоянном взаимодействии с внешней средой, что вызывает необходимость применения интеллектуальных систем управления. Производство выходит за границы одного предприятия, становится рассосредоточенным, объединенным в промышленную сеть вещей и услуг, имеющую глобальный характер.

13. Цифровая трансформация ПЛС – это ее постоянная перестройка в цифровую систему. Это комплексное преобразование системы, связанное с переходом к новым бизнес-моделям, каналам коммуникаций с клиентами и поставщиками, продуктам, производственным и бизнес-процессам, корпоративной культуре, которые базируются на принципиально новых подходах к управлению данными с использованием цифровых технологий.

14. Нами выделены основные факторы, препятствующие цифровой трансформации ПЛС, такие как слабая осведомленность и степень освоения цифровых технологий в промышленности, нехватка кадров при низкой цифровой грамотности персонала; ресурсные ограничения, отсутствие объективных оценок эффективности цифровой трансформации, угроза увеличения образованной безработицы, рост уязвимости производства в связи с расширением проблем кибербезопасности.

15. Разработана концепция цифровой трансформации производственно-логистических систем. Она включает в себя описание системообразующих элементов: субъектов, объектов, принципов, целей, задач, результатов, методов и инструментов цифровой трансформации ПЛС.

16. Концептуальная типология ПЛС как система взаимосвязанных потокового, социоконвергентного, управленческого и процессного аспектов определения понятия, содержания, состава и тенденции трансформации легла в основу декомпозиции объекта трансформации. Так, выделен и определен состав трансформируемых элементов системы: потоков, подсистемы управления потоками, подсистемы осуществления цикла производства и ресурсного состава ПЛС как социоконвергентной системы.

17. Сформулированы принципы проведения цифровой трансформации ПЛС: адаптивность, оптимальность, гибкость, устойчивость, надежность, адекватность, сохраняемость, управляемость, безопасность и принцип устойчивого развития. Название 10 принципов достаточно известны, однако их содержание раскрывается применительно к условиям построения цифровой экономики. Так, их практическое достижение претерпевает изменение за счет освоения цифровых и инновационных технологий и управленческих подходов и решений.

18. Цель трансформации ПЛС заключается в придании ей способности создавать добавленную стоимость длительный период за счет решения задач обеспечения ее устойчивости, адаптивности, гибкости и эффективности на более высоком уровне, чем до проводимых мероприятий. Функциями управления цифровой трансформации ПЛС являются проектирование, организация, осуществление изменений, освоение новых технологий в промышленных масштабах и оценка достигнутых значений целевых показателей.

19. Определены средства цифровой трансформации для каждого из элементов ПЛС: потоков, подсистемы управления потоками, подсистемы осуществления цикла производства и ресурсного состава. Изучены и сгруппированы технологии и инструменты цифровой трансформации, включая киберконвергентное преобразование, человеко-машинные интер-

фейсы, технологии хранения и обработки данных, инструменты для моделирования, планирования и координации работ.

Предложено цифровую трансформацию ПЛС выполнять на базе средств и инструментов, обеспечивающих реализацию следующих теоретико-методологических подходов: на основе изменения спроса (Demand / market-driven), модельно-ориентированного проектирования (Model-Based Design), концентрации на нуждах клиента (Customer-centric), данных (Data-driven, Data-centric), выявления угроз (Threat-driven).

20. Определено, что состав, форма, качественные параметры, источники получения, методы получения, перемещения, хранения, преобразования каждого из элементов, формирующих потоки ПЛС, изменяются в результате внедрения цифровых и инновационных технологий.

Непосредственной задачей трансформации информационных потоков стал поиск способа генерации потоков прямой и обратной связи, отслеживания, хранения, анализа и эффективного использования данных. Комплексно описаны изменения информационных потоков ПЛС, которые в значительной мере подвержены трансформации в результате внедрения цифровых технологий цифровых двойников, генерации и обработки больших данных, промышленного Интернета вещей, облачных вычислений.

21. Трансформация состава, формы, качественных параметров материально-сырьевых ресурсов связывается нами с освоением производственных технологий V и VI технологического укладов: технологии производства новых материалов с заданными свойствами; биотехнологии; нанотехнологии; генно-инженерные и клеточные технологии; аддитивные технологии. Новый процесс получения материала с одновременным формированием детали привел к использованию новой схемы «конструкция – материал – заготовка – технологический процесс – оборудование – деталь». Развиваются технологии, реализующие восходящий процесс создания материала и детали, когда деталь и материал формируются одновременно. Основной технологией здесь рассмотрены аддитивные технологии.

22. Выходные потоки трансформируются под влиянием потребительского спроса в интегрированные потоки комплекса «товар + услуга» и «товар + сопровождение на протяжении жизненного цикла». Комплексные объекты становятся предметом договоров поставки, в которых материальный продукт дополняют разнообразные услуги пред- и послепродажного характера. Контракт жизненного цикла – на приобретение товара или работы, их дальнейшее обслуживание, ремонт, эксплуатацию, уничтожение товара (объекта) – становится инструментом захвата рынка.

23. Трансформация ПЛС в систему Умного производства делает возможным появления объектов, способных объединяться в киберфизическую систему. Человек как носитель интеллектуального и трудового ресурса меняет роль исполнителя трудовых процессов, рабочего-станочника на роль программиста, аналитика, диспетчера, а также как потребитель продукции вовлекается в ее проектирование и производство. Трансформация роли и места человека в ПЛС позволяет нам говорить о создании *социокиберфизической системы (СКФС)* цифрового типа. В ней продвинутая робототехника, объединенная на базе цифровых технологий в сети, полностью автоматизирует и оптимизирует производство. Информационные потоки, циркулирующие в этом замкнутом контуре, становятся доступны персоналу за счет обмена, поддерживаемого контроллером промышленного Интернета вещей. Технологии Blockchain, Big Data, облачные сервисы призваны обеспечить передачу, хранение и обработку информации, собранной с датчиков.

24. Цифровая трансформация подсистемы управления потоками связана с внедрением цифровых технологий и информационных (автоматических) систем управления. Главной задачей выделено формирование централизованного цифрового информационного хаба, обеспечивающего единый замкнутый контур управления. Цифровая трансформация подсистемы управления потоками нацелена на создание единого информационного пространства не только на уровне предприятия, но и цепи поставок, а планирование производства и всей деятельности перепределяется и становится планированием заказов покупателей для организации динамичного производства.

25. Цифровая трансформация подсистем производства связана с внедрением цифровых технологий в процессы продажи и последующей поддержки, проектирования и разработки продукции, технической подготовки производства, основного производства, материально-технического снабжения, кадрового обеспечения, поддержания в рабочем состоянии оборудования, изготовления инструмента и оснастки, переналадки оборудования, перемещения и хранения грузов на предприятии. Возможности цифровых технологий для развития указанных процессов систематизированы для достижения конкретных локальных целей трансформации. Выделены технологии и инструменты, обеспечивающие киберфизическое преобразование, человеко-машинные интерфейсы, технологии хранения и обработки данных, инструменты для моделирования, планирования и координации работ для целого комплекса работ в каждой подсистеме.

26. Определено, что целью трансформации ПЛС группы предприятий является ее преобразование в динамичную Умную сеть поставок.

Установлена структура сети и цифровые технологии, обеспечивающие ее функционирование. Выделены и описаны семь основных трендов трансформации ПЛС.

27. Использование платформенных решений при трансформации производственно-логистических систем является объективным результатом IV промышленной революции. Цифровая платформа ПЛС должна создаваться как экосистема – обладающая информационно-технологической инфраструктурой многосторонняя цифровая открытая площадка, объединяющая внешних партнеров, где реализуется принцип «win-win» при выборе пользователями платформы любого исполнителя или получения контракта. Нами предложена функциональная модель экосистемы исходя из бизнес-задач пользователей платформы. Правила и порядок обмена информацией с использованием платформы, интерфейсы взаимодействия, структуры баз данных определяются отраслевым регулятором на основе эталонной отраслевой модели данных и эталонного описания бизнес-процессов отрасли, которые, в свою очередь, являются производными от отраслевой онтологической модели. Поэтому решение задачи регуляторной организационной, семантической (документарной) и технической интероперабельности связывается нами с разработкой единого решения модели бизнес-процесса в сфере производства и логистики, ее верификацией и отладкой в пилотных проектах, масштабированием и использованием в качестве отраслевого стандарта.

28. Проведено исследование и анализ применимости и реализации того или иного сервиса на территории Республики Беларусь, декомпозиция и композиция предлагаемого экспертами ЕЭК перечня сервисов, произведено его дополнение. На этой базе сформулирован состав и функционал сервисов национальной цифровой платформы. Предложено постепенное наполнение платформы сервисами и разработана карта скорости освоения, значимости и уровня вложений в создание сервисов. Сформулированы рекомендации по последовательности разработки и включения сервисов в состав платформы.

29. Обеспечение устойчивости, гибкости и надежности как целевых ориентиров при создании Умных сетей поставок раскрыто во взаимосвязи с проблемой восстановления от последствий пандемии COVID-19. Описан ряд направлений трансформации цепей поставок, где все чаще осваивают новые способы быстрой работы, переходят к плоским, неиерархическим структурам, принимая радикальные меры по обеспечению устойчивости цепей поставок по мере возврата к состоянию синхронизации, а также предложены меры совершенствования управления в цепях поставок для формирования «следующей нормы».

30. Определено, что механизмы цифровой трансформации должны быть встроены в систему организации и осуществления проектов развития ПЛС. Управление процессом цифровой трансформации основывается на методологии управления проектами. Основные этапы разработки проектных решений по цифровой трансформации ПЛС определены и описаны с позиции системного инжиниринга и непрерывного инжиниринга. Интеграция V-образной модели с методологией системной инженерии на основе моделей позволяет использовать ее цифровой двойник для валидации процесса создания системы при переходе с одного этапа на другой. В связи с этим разработана модель процесса создания и верификации проекта освоения цифровых технологий в ходе цифровой трансформации ПЛС. Представляется очевидным и неоспоримым применение в условиях высокой вариабельности и неопределенности результатов цифровой трансформации методологии теории ограничений систем Э. Голдратта как механизма, обеспечивающего последовательность и качество реализуемых преобразований. Необходимо проведение тщательного анализа того, как любая из технологий Индустрии 4.0 может обеспечить прирост прибыли и анализа возможных негативных последствий и ущерба.

Применение при анализе конкурирующих проектов указанных разработок позволяет сформировать программу развития ПЛС путем последовательного включения в нее проектов с высшими рангами в пределах инвестиционных возможностей предприятия с учетом обеспечения гибкости, устойчивости, адаптивности и эффективности системы как целевых приоритетов ее развития в условиях цифровой экономики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://scienceportal.org.by/upload/2015/August/National_Strategy_of_Social_and_Economic_Development_2030.pdf. – Дата доступа: 05.09.2020.

2. Глобальное исследование цифровых операций в 2018 г. «Цифровые чемпионы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pwc.ru/ru/iot/digital-champions.pdf>. – Дата доступа: 05.09.2020.

3. Цифра жизни. О развитии проектов по цифровой трансформации производств в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belchemoil.by/news/tehnologii-i-trendy/cifra-zhizni.-o-razvitii-proektov-po-cifrovoj-transformacii-proizvodstv-v-belarusi>. – Дата доступа: 08.12.2020.

4. Туровец, О. Г. Эволюция производственных систем в условиях становления инновационной экономики [Электронный ресурс] / О. Г. Туровец, В. Н. Родионова // Организатор производства. – 2008. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/evolyutsiya-proizvodstvennyh-sistem-v-usloviyah- stanovleniya-innovatsionnoy-ekonomiki>. – Дата доступа: 05.09.2020.

5. Умберг, Э. Д. Производственная система предприятия [Электронный ресурс] / Э. Д. Умберг. – Режим доступа: <https://center-yf.ru/data/Menedzheru/proizvodstvennaya-sistema-predpriyatiya.php>. – Дата доступа: 05.09.2020.

6. Дручевская, И. А. Внедрение системы бережливого производства на российских предприятиях [Электронный ресурс] / И. А. Дручевская. – Режим доступа: <http://sjes.esrae.ru/pdf/2014/3/15.pdf>. – Дата доступа: 05.02.2019.

7. Мясникова, О. В. Распределительная логистика : учеб. пособие / О. В. Мясникова. – Минск : Выш. шк., 2016. – 382 с.

8. Логистическая деятельность. Термины и определения : СТБ 2047-2010. – Введ. 01.01.11. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. – 24 с.

9. Бенсон Д., Уайтхед Дж. Транспорт и доставка грузов : пер. с англ. – М. : Транспорт, 1990. – 279 с.

10. Логистика : учеб. пособие / Б. А. Аникин [и др.]; под ред. Б. А. Аникина, Т. А. Родкиной. – М. : ТК Велби, Проспект, 2007. – 408 с.
11. *Гаджинский, А. М.* Логистика : учеб. для высш. учеб. заведений по направлению подготовки «Экономика» / А. М. Гаджинский. – М. : Дашков и К°, 2013. – 420 с.
12. *Аникин, Б. А.* Коммерческая логистика : учебник / Б. А. Аникин, А. П. Тяпухин. – М. : Проспект, 2015. – 432 с.
13. *Лукинский, В. С.* Логистика и управление цепями поставок : учеб. и практикум для акад. бакалавриата / В. С. Лукинский, В. В. Лукинский, Н. Г. Плетнева. – М. : Юрайт, 2016. – 359 с.
14. *Лобанов, Н. Б.* Производственная логистика [Электронный ресурс] / Н. Б. Лобанов. – Режим доступа: https://www.lobanov-logist.ru/library/all_articles/59932/. – Дата доступа: 05.09.2020.
15. *Ермоленко, М. Ю.* Планирование комплекса инвестиционных проектов как часть управления производственно-логистическими системами [Электронный ресурс] / М. Ю. Ермоленко // Управление развитием крупномасштабных систем : материалы второй Междунар. конф. / Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова ; общ. ред.: С. Н. Васильев, А. Д. Цвиркун. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25422593_61664254.pdf. – Дата доступа: 05.09.2020.
16. *Чудин, О. В.* Анализ и оценка эффективности инвестиций в развитие производственно-логистических систем : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / О. В. Чудин; Гос. ун-т упр. – М., 2009. – 24 с.
17. *Ерохина, Е. В.* Состояние и перспективы производственно-логистической подсистемы региона / Е. В. Ерохина // Пути социально-экономического развития региона: финансовое обеспечение, перспективы и направления оптимизации : сб. ст. / Калужский филиал Финансового ун-та при Правительстве РФ ; под ред. Т. Э. Пироговой, Д. К. Никифорова. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23540992_91641824.pdf. – Дата доступа: 05.09.2020.
18. *Крылатков, П. П.* Управление целостностью субъектов производственно-логистического пространства / П. П. Крылатков // Управленец. – 2015. – № 3 (55). – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_23937490_22469155.pdf. – Дата доступа: 05.09.2020.
19. *Некрасов, А. Г.* Модель жизненного цикла производственно-логистической системы предприятия / А. Г. Некрасов // НИР. Экономика фирмы. – 2017. – № 1 (18). – С. 21–25.
20. *Евтодиева, Т. Е.* Методические аспекты формирования логистических систем / Т. Е. Евтодиева // Изв. АлтГУ. – 2012. – № 2–1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-aspekty-formirovaniya-logisticheskikh-sistem>. – Дата доступа: 05.09.2020.
21. *Клочков, В. Н.* Развитие логистических систем [Электронный ресурс] / В. Н. Клочков, С. А. Гусев, Ж. А. Золотушкина // Kant. – 2011. – № 3. – С. 86–89. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-logisticheskikh-sistem>. – Дата доступа: 05.09.2020.

22. *Мясникова, О. В.* Промышленное предприятие как логистическая система : учеб. пособие / О. В. Мясникова. – Минск : Выш. шк., 2019. – 287 с.

23. Система менеджмента безопасности цепи поставок. Наилучшие практики осуществления безопасности цепи поставок, оценки и планов безопасности. Требования и руководство по применению : ГОСТ Р ИСО 28001-2019. – Взамен ГОСТ Р 53662-2009 ; введ. 01.07.20. – М. : Стандартинформ, 2020. – 25 с.

24. *Колодкин, В. В.* О понятийном аппарате логистики [Электронный ресурс] / В. В. Колодкин. – Режим доступа: http://edoc.bseu.by:8080/bitstream/edoc/7488/2/Kolodkin_V_V_Trudy_2013_S_165-171_osr.pdf. – Дата доступа: 05.09.2020.

25. *Король, А. Н.* Управление цепями поставок / А. Н. Король // Изв. ИГЭА. – 2008. – № 1 (62). – С. 86–89.

26. Логистика и управление цепями поставок. Теория и практика. Основы логистики : учебник / под ред. Б. А. Аникина, Т. А. Родкиной. – М. : Проспект, 2013. – 344 с.

27. *Мерзляк, А. В.* Роль информации и стратегии в моделях управления цепями поставок: референтные модели лучших практик, Ментцера, GSCF, CPFR, SCOR [Электронный ресурс] / А. В. Мерзляк // Российское предпринимательство. – 2015. – Т. 16, № 22. – Режим доступа: <https://bgscience.ru/lib/34666>. – Дата доступа: 05.09.2020.

28. SCOR 12.0 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.apics.org/apics-for-business/frameworks/scor12>. – Date of access: 05.09.2020.

29. Time to remodel [Electronic resource] / Christopher R. Moberg, Kate Vitasek, Theodore P. Stank, Abré Pienaar // CSCMP's Supply Chain Quarterly. – Quarter 3. 2008. – Mode of access: <https://www.supplychainquarterly.com/topics/Strategy/scq200803scmmmodel/>. – Date of access: 05.09.2020.

30. *Виноградов, А. Б.* Межфункциональная координация при управлении цепями поставок (на примере процесса управления взаимоотношениями с клиентами) / А. Б. Виноградов // Логистика и управление цепями поставок. – 2011. – № 1 (42). – С. 20–30.

31. *Левина, Т. В.* SCOR-моделирование / Т. В. Левина // Логистика и управление цепями поставок. – 2012. – № 2 (49). – С. 88–94.

32. Supply Chain Management and Business Performance: The VASC Model / Ch. Camman [et al.]. – London : John Wiley & Sons, 2017. – 278 p.

33. *Матушкин, М. А.* SCOR-модель как инструмент повышения качества менеджмента российских предприятий / М. А. Матушкин // Бизнес. Образование. Право. Вестн. Волгоградского ин-та бизнеса. – 2016. – № 1 (34). – С. 50–55.

34. *Bolstorff, P.* SCOR digital edition development: virtual kickoff [Electronic resource] / P. Bolstorff. – Mode of access: http://www.apics.org/docs/default-source/corporate-development/scordigitaleditionvirtualkickoff.pdf?sfvrsn=22c3f9df_6. – Date of access: 05.09.2020.

35. *Левина, Т. В.* Совместное планирование, прогнозирование и пополнение запасов / Т. В. Левина // Логистика и управление цепями поставок. – 2013. – № 1 (54). – С. 83–87.

36. Технология CPFR – совместное планирование, прогнозирование и пополнение запасов в цепях поставок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studme.org/68534/logistika/tehnologiya_cpfr_sovmestnoe_planirovanie_prognozirovanie_popolnenie_zapasov_tsepyah_postavok. – Дата доступа: 05.09.2020.

37. Блейхер, О. В. Логистика : учеб.-метод. комплекс [Электронный ресурс] / О. В. Блейхер. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/911/73911/files/Logistika.pdf>. – Дата доступа: 05.09.2020.

38. Мясникова, О. В. Развитие производственно-логистических систем: возможности, угрозы и препятствия цифровой трансформации / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. – 2019. – № 1 (5). – С. 31–36.

39. Мясникова, О. В. Организационно-экономический механизм оптимизации производственных процессов как инновационный инструмент развития предприятия / О. В. Мясникова // Инновац. образоват. технологии. – 2009. – № 1. – С. 113–121.

40. Мясникова, О. В. Развитие производственных процессов промышленного предприятия на основе реинжиниринга: организационно-экономический аспект [Электронный ресурс] : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / О. В. Мясникова. – Минск, 2009. – Режим доступа: <http://dep.nlb.by/jspui/handle/nlb/39921>. – Дата доступа: 20.01.2016.

41. Информационные системы управления производственной компанией : учеб. и практикум для академ. бакалавриата / под ред. Н. Н. Лычкиной. – М. : Юрайт, 2019. – 249 с.

42. Кондратьев, Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения / Н. Д. Кондратьев. – М. : Экономика, 2002. – 765 с.

43. Львов, Д. С. Теоретические и прикладные аспекты управления НТП / Д. С. Львов, С. Ю. Глазьев // Экономика и мат. методы. – 1986. – № 5. – С. 793–804.

44. Глазьев, С. Ю. Мировой экономический кризис как процесс замещения доминирующих технологических укладов / С. Ю. Глазьев // Вопр. экономики. – 2009. – № 3. – С. 26–38.

45. Глазьев, С. Ю. Великая цифровая революция: вызовы и перспективы для экономики XXI века [Электронный ресурс] / С. Ю. Глазьев. – Режим доступа: <https://glazev.ru/articles/6-jekonomika/54923-velikaja-tsifrovaja-revoljutsija-vyzovy-i-perspektivy-dlja-jekonomiki-i-veka>. – Дата доступа: 05.09.2020.

46. Сироткин, А. Ю. Управление модернизацией производственных систем промышленных предприятий [Электронный ресурс] / А. Ю. Сироткин // Креативная экономика. – 2010. – № 12. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-modernizatsiej-proizvodstvennyh-sistem-promyshlennyh-predpriyatij-1>. – Дата доступа: 05.09.2020.

47. Ларионов, Г. В. Исторические аспекты развития научной организации производственных систем [Электронный ресурс] / Г. В. Ларионов, А. Ю. Никитин // Вестн. АГТУ. Серия: Экономика. – 2017. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoricheskie-aspekty-razvitiya-nauchnoy-organizatsii-proizvodstvennyh-sistem>. – Дата доступа: 05.09.2020.

48. *Мельников, О. Н.* Основные этапы инновационного развития организации производства с позиций динамики использования принципов бережливого производства [Электронный ресурс] / О. Н. Мельников, В. Г. Ларионов, Н. А. Ганькин // *Вопр. инновац. экономики.* – 2016. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnyye-etapy-innovatsionnogo-razvitiya-organizatsii-proizvodstva-s-pozitsiy-dinamiki-ispolzovaniya-printsipov-berezhlivogo>. – Дата доступа: 05.09.2020.

49. *Калинкин, Г. А.* Производственная система XXI века [Электронный ресурс] / Г. А. Калинкин // *Экономика и управление.* – 2013. – № 3. – Режим доступа: <http://elibrary.miu.by/journals!/item.eiup/issue.35/article.2.html>. – Дата доступа: 05.09.2020.

50. *Куприянов, Ю. В.* Переход к модели интегрированного производственно-го планирования в условиях трансформации производственных систем и единого информационного пространства [Электронный ресурс] / Ю. В. Куприянов // *Российское предпринимательство.* – 2018. – Т. 19, № 7. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perehod-k-modeli-integririrovannogo-proizvodstvennogo-planirovaniya-v-usloviyah-transformatsii-proizvodstvennyh-sistem-i-edinogo>. – Дата доступа: 05.09.2020.

51. *Дзагоева, М. Р.* Особенности развития производственных систем предприятий: зарубежный и российский опыт [Электронный ресурс] / М. Р. Дзагоева, З. К. Айларова, Л. Э. Комаева // *Управление экон. системами.* – 2014. – № 3 (63). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razvitiya-proizvodstvennyh-sistem-predpriyatiy-zarubezhnyy-i-rossiyskiy-opyt>. – Дата доступа: 05.09.2020.

52. *Lu Y.* Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems [Electronic resource] / Y. Lu, K. C. Morris, S. Frechette. – Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication/301233074>. – Date of access: 05.09.2020.

53. *Ковалев, М. М.* Цифровая экономика – шанс для Беларуси / М. М. Ковалев, Г. Г. Головенчик. – Минск : Изд. центр БГУ, 2018 – 327 с.

54. *Данильченко, А. В.* Цифровая трансформация обрабатывающей промышленности Республики Беларусь: тенденции и перспективы развития / А. В. Данильченко, И. А. Зубрицкая, К. В. Якушенко. – Минск : Право и экономика, 2019. – 246 с.

55. *Прохоров, А.* Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, Л. Коник. – М. : ООО «АльянсПринт», 2019. – 368 с.

56. Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение : докл. к XX апр. Междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 9–12 апр. 2019 г. / Нац. исслед. ун-т «Высш. шк. экономики»; науч. ред. Л. М. Гохберг. – М. : Высш. шк. экономики, 2019. – 82 с.

57. *Головенчик, Г. Г.* Цифровая трансформация и экономический рост (на примере белорусской экономики) / Г. Г. Головенчик, М. М. Ковалев // *Журн. Белорус. гос. ун-та. Экономика.* – 2018. – № 1. – С. 102–121.

58. Цифровая трансформация промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf. – Дата доступа: 05.09.2020.

59. *Мясникова, О. В.* Китайский опыт цифровой трансформации ритейла, производства и логистики / О. В. Мясникова // Опыт китайской политики реформ и открытости и его актуальность для белорусской модели устойчивого социально-экономического развития : сб. науч. ст. по итогам работы Второй Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14 ноября 2019 г. / под ред. проф. А. А. Толика. – Минск : Изд. центр БГУ, 2020. – С. 222–231.

60. *Мясникова, О. В.* Цифровая трансформация ритейла и логистики в Китае: возможности для экспорта белорусских товаров / О. В. Мясникова // Проблемы управления. – 2020. – № 1 (75). – С. 42–49.

61. OECD Economic Surveys: China 2019 [Electronic resource]. – Mode of access: https://doi.org/10.1787/eco_surveys-chn-2019-en. – Date of access: 30.08.2019.

62. Цифровая экономика становится новым двигателем экономического роста в Китае [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://russian.people.com.cn/n3/2019/1022/c31518-9625389.html>. – Дата доступа: 02.11.2019.

63. *Longmei, Zh.* China's Digital Economy: Opportunities and Risks [Electronic resource]. – IMF Working Paper WP/19/16. Washington: International Monetary Fund / Zh. Longmei, S. Chen. – 2016. – Mode of access: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/01/17/Chinas-Digital-Economy-Opportunities-and-Risks-46459>. – Date of access: 30.08.2019.

64. China's digital economy: A leading global force [Electronic resource] / McKinsey Global Institute. – Mode of access: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/China/Chinas%20digital%20economy%20A%20leading%20global%20force/MGI-Chinas-digital-economy-A-leading-global-force.ashx>. – Date of access: 30.08.2019.

65. Из Поднебесной в небеса. Почему стал возможным китайский технологический взлет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/4125713>. – Дата доступа: 02.11.2019.

66. Число интернет-пользователей Китая превысило 829 млн человек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://regnum.ru/news/society/2582831.html>. – Дата доступа: 02.11.2019.

67. *Solis, B.* The State Of Digital Transformation In China Versus The Rest Of The World [Electronic resource] / B. Solis. – Mode of access: <https://www.forbes.com/sites/briansolis/2019/06/26/the-state-of-digital-transformation-in-china/#31721cac2577>. – Date of access: 30.08.2019.

68. The pace of digital transformation accelerated in the Asia Pacific region [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.mediabuzz.com.sg/research-analysis-and-trends-june-2019/the-pace-of-digital-transformation-accelerated-in-the-asia-pacific-region>. – Date of access: 30.08.2019.

69. China digital consumer trends 2019: Discovering the next wave of growth [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/china/china%20digital%20consumer%20trends%20in%202019/china-digital-consumer-trends-in-2019.ashx>. – Date of access: 30.08.2019.

70. Alibaba to invest CNY100 billion to set up smart logistics network [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.digitimes.com/news/a20180611PD211.html?utm_source=ixbtcom. – Date of access: 30.08.2019.

71. Alibaba Group Announces September Quarter 2019 Results [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.businesswire.com/news/home/2019110105278/en/Alibaba-Group-Announces-September-Quarter-2019-Results>. – Date of access: 02.11.2019.

72. *Chou, C.* How Cainiao Plans to Digitize China's Logistics Industry [Electronic resource] / C. Chou. – Mode of access: <https://www.alizila.com/how-cainiao-plans-to-digitize-chinas-logistics-industry/>. – Date of access: 02.11.2019.

73. Компания JD.com запустила свою первую курьерскую станцию с использованием робототехники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://russian.news.cn/2018-11/23/c_137626475.htm. – Дата доступа: 10.12.2018.

74. *Мясникова, О. В.* Трансформация цепей поставок как ответ на вызовы четвертой промышленной революции / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. – 2018. – № 1 (3). – С. 50–54.

75. *Мясникова, О. В.* Формирование Умных сетей поставок как инструмент модернизации экономики / О. В. Мясникова // Стратегия развития экономики Беларуси: вызовы, инструменты реализации и перспективы : материалы Международ. науч.-практ. конф. (20–21 сентября 2018 г., г. Минск) : в 2 т. / Ин-т экономики НАН Беларуси. – Минск : Право и экономика, 2018. – Т. 2. – С. 191–194.

76. *Schwab, K.* The Fourth Industrial Revolution [Electronic resource] / K. Schwab. – Mode of access: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>. – Date of access: 20.11.2018.

77. Building a new culture for quality management in the era of the Fourth Industrial Revolution / S. H. Park [et al.] // TQM and Business Excellence. – Vol. 28, № 9. – P. 934–945.

78. Новая технологическая революция: вызовы и возможности для России. Экспертно-аналитический доклад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/10/novaya-tehnologicheskaya-revolutsiya-2017-10-13.pdf>. – Дата доступа: 19.01.2018.

79. Принятие решений в цифровой экономике. Опыт Великобритании / В. П. Куприяновский [и др.] // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5, № 4. – С. 63–73.

80. *Тарасов, И. В.* Технологии Индустрии 4.0: влияние на повышение производительности промышленных компаний [Электронный ресурс] / И. В. Тарасов // Стратег. решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 2 (107). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-industrii-4-0-vliyanie-na-povyshenie-proizvoditelnosti-promyshlennyh-kompaniy>. – Дата доступа: 19.01.2019.

81. Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector (2015) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-four-point-o-how-to-navigate-the-digitization-of-the-manufacturing-sector>. – Date of access: 20.11.2018.

82. *Прохоров, А.* Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев ; науч. ред. проф. А. Боровков. – Изд. первое, испр. и доп. – М. : ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 с.

83. *Pakhomova, N. V.* Circular economy as challenge to the fourth industrial revolution [Electronic resource] / N. V. Pakhomova, K. K. Rikhter, M. A. Vetrova // *Инновации*. – 2017. – № 7 (225). – P. 66–70. – Mode of access: <https://cyberleninka.ru/article/n/circulareconomyaschallengetothefourthindustrialrevolution>. – Date of access: 20.11.2018.

84. A circular economy perspective on sustainable supply chain management: an updated survey [Electronic resource] / G. V. Pishchulov [et al.] // *St. Petersburg University Journal of Economic Studies*. – 2018. – Vol. 34, iss. 2. – Mode of access: <https://doi.org/10.21638/11701/spbu05.2018.204>. – Date of access: 20.11.2018.

85. *Батова, Н.* Циркулярная экономика в действии: формы организации и лучшие практики [Электронный ресурс] / Н. Батова, П. Сачек, И. Точицкая. – Режим доступа: http://www.ipm.by/webroot/delivery/files/PP_5_rus.pdf. – Дата доступа: 20.11.2018.

86. *Кривоносов, Н. А.* Будущие цифровизации в логистике [Электронный ресурс] / Н. А. Кривоносов // Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. Революция в управлении: новая цифровая экономика или новый мир машин : материалы II Междунар. науч. форума, 2018. – Режим доступа: https://guu.ru/wpcontent/uploads/forum_b1_v1.pdf. – Дата доступа: 19.01.2019.

87. *Barak, Y.* Trends in Supply Chain Management [Electronic resource] / Y. Barak. – Mode of access: https://www.tefen.com/insights/industries/General_Manufacturing/trends_in_supply_chain_management. – Date of access: 20.11.2018.

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

89. *Мясникова, О. В.* Теоретико-концептуальные подходы к формированию производственно-логистической системы «Умного производства» как социокриберфизической системы / О. В. Мясникова // *Экономика. Управление. Инновации*. – 2020. – № 1 (7). – С. 29–35.

90. *Боровков, А. И.* Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения / А. И. Боровков, В. М. Марусева, Ю. А. Рябов // Доклад «Цифровое производство: методы, экосистемы, технологии». – 2018. – С. 24–43.

91. *Боровков, А. И.* «Умные» цифровые двойники – основа новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения / А. И. Боровков, В. М. Марусева, Ю. А. Рябов // *Трамплин к успеху*. – 2018. – № 13. – С. 12–16.

92. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А. И. Боровков [и др.] // *Оборон. техника*. – 2018. – № 1. – С. 6–33.

93. *Мясникова, О. В.* Тренды инновационного развития производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // *Проблемы прогнозирования и государственного регулирования социально-экономического развития : материалы XXI Междунар. науч. конф. (Минск, 22–23 окт. 2020 г.) : в 3 т. / редкол. : Ю. А. Медведева [и др.]*. – Минск : НИЭИ М-ва экономики Респ. Беларусь, 2020. – Т. 3. – С. 49–50.

94. *Огинская, А.* Использование информационных технологий белорусским бизнесом. Ч. 1: Востребованные решения и сферы их использования [Электронный ресурс] / А. Огинская, Р. Морозов. – Режим доступа: <https://www.ipm.by/upload/iblock/c2d/c2df23e794fbf59c089babd0e96911f4.pdf>. – Дата доступа: 27.12.2019.

95. *Байнев, В. Ф.* Электронная (цифровая) экономика как технико-технологический и политико-экономический феномен / В. Ф. Байнев // Наука и инновации. – 2019. – № 7 (197). – С. 53–59.

96. *Буренина, И. В.* Социально-экономические трансформации, связанные с реализацией проектов разработки и внедрения технологий Индустрии 4.0 [Электронный ресурс] / И. В. Буренина, М. М. Гайфуллина, С. Ф. Сайфуллина // Вестн. Евразийской науки. – 2018. – № 5. – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/73ECVN518.pdf>. – Дата доступа: 09.02.2019.

97. *Касперская, Н.* Цифровая экономика и риски цифровой колонизации: развернутые тезисы выступления на Парламентских слушаниях в Госдуме [Электронный ресурс] / Н. Касперская // Общественный совет гражданского общества. – Режим доступа: <http://narodosnova.ru/2018/04/tsifrovaya-ekonomika-i-riski-tsifrovoj-kolonizatsii.html>. – Дата доступа: 29.11.2018.

98. *Алтухова, Н. Ф.* Условия реализации цифровой трансформации в организации [Электронный ресурс] / Н. Ф. Алтухова // Экономика. Налоги. Право. – 2018. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/usloviya-realizatsii-tsifrovoy-transformatsii-v-organizatsii>. – Дата доступа: 09.02.2019.

99. *Мясникова, О. В.* Концепция цифровой трансформации производственно-логистических систем в условиях перехода к цифровой экономике / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. – 2020. – № 2 (8). – С. 46–52.

100. *Мясникова, О. В.* Принципы формирования производственно-логистических систем в условиях цифровой трансформации экономики / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ ; редкол. : Г. А. Хацкевич (предс.) [и др.]. – 2020. – Вып. 4. – С. 178–185.

101. Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation In collaboration with A. T. Kearney [Electronic resource]. – Mode of access: http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf. – Date of access: 30.10.2018.

102. 10th annual Tech Trends report [Electronic resource]. – Mode of access: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/Tech-Trends-2019/DI_TechTrends2019.pdf. – Date of access: 30.04.2019.

103. *Tan Wee Kwang.* The future of production: IoT, AI, robotics, wearables and 3D printing [Electronic resource] / Tan Wee Kwang. – Mode of access: <https://www.enterpriseinnovation.net/article/future-production-iot-ai-robotics-wearables-and-3d-printing-51643031>. – Date of access: 30.10.2018.

104. *Issel, Tracy.* The Future of Retail with Mixed Reality and AI Technology [Electronic resource] / Tracy Issel. – Mode of access: <https://enterprise.microsoft.com/enus/articles/industries/retailandconsumergoods/thefutureofretailwithmixedrealityandai-technology/>. – Date of access: 30.09.2017.

105. *Мясникова, О. В.* Влияние технологий и инструментов цифровой экономики на состав и структуру производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // Бизнес. Образование. Экономика : Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2 апреля 2020 г. : сб. ст. : в 2 ч. / Ин-т бизнеса БГУ ; редкол. : В. В. Манкевич (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Ин-т бизнеса БГУ, 2020. – Ч. 2. – С. 161–166.
106. *Шмотин, Ю.* Цифровой двойник на производстве: задачи, вопросы, перспективы [Электронный ресурс] / Ю. Шмотин. – Режим доступа: http://www.uprpro.ru/library/information_systems/project/d7fb9dd59e1ffa29.html. – Дата доступа: 03.09.2019.
107. Цифровая платформа CML-Bench™ разработки цифровых двойников и система управления деятельностью в области компьютерного инжиниринга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fea.ru/article/cml-bench>. – Дата доступа: 09.02.2019.
108. Влияние Интернета вещей на разработку продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/downloads/cas/D1OJMK7P>. – Дата доступа: 20.04.2018.
109. *Емельянович, И. В.* CALS-технологии и повышение конкурентоспособности продукции / И. В. Емельянович // Вестн. Белорус. гос. экон. ун-та. – 2009. – № 6. – С. 89–97.
110. *Adgaonkar, A.* Bringing the power of IoT to supply chain management [Electronic resource] / A. Adgaonkar. – Mode of access: <https://enterprise.microsoft.com/enus/articles/industries/discretemanufacturing/bringingthepowerofiotstosupplychainmanagement/>. – Date of access: 30.01.2018.
111. Цифровое производство: методы, экосистемы, технологии. Рабочий доклад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://odm3.io/>. – Дата доступа: 20.12.2017.
112. Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf. – Дата доступа: 05.02.2020.
113. *Лим, Е. В.* Принципы создания новых материалов с позиции материаловедения и технологического развития [Электронный ресурс] / Е. В. Лим, В. В. Самойленко, Д. С. Шарапкин. – Режим доступа: https://elar.ufrfu.ru/bitstream/10995/41928/1/sch_met_XVI_2015_2_084.pdf. – Дата доступа: 05.02.2020.
114. Критические технологии «новые материалы и химические продукты» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chemnet.ru/rus/journals/xr/krtex.html>. – Дата доступа: 10.11.2020.
115. *Княгинин, В. Н.* Прогноз развития производственных технологий на период до 2030 года [Электронный ресурс] / В. Н. Княгинин. – Доклад на основании промежуточных результатов Промышленного и технологического форума по заказу Минпромторга РФ. – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/903721/>. – Дата доступа: 05.12.2019.
116. *Довбыш, В. М.* Аддитивные технологии и изделия из металла [Электронный ресурс] / В. М. Довбыш, П. В. Забеднов, М. А. Зленко. – Режим доступа:

https://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metall.pdf. – Дата доступа: 10.11.2020.

117. Аддитивно-субтрактивные технологии – эффективный переход к инновационному производству [Электронный ресурс] / А. В. Киричек [и др.] // Вестн. Брянского гос. техн. ун-та. – 2019. – № 8 (81). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivno-subtraktivnye-tehnologii-effektivnyy-perehod-k-innovatsionnomu-proizvodstvu>. – Дата доступа: 10.11.2020.

118. Передовые технологии аддитивного производства металлических изделий [Электронный ресурс] / А. А. Осколков [и др.] // Вестн. ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/peredovye-tehnologii-additivnogo-proizvodstva-metallicheskih-izdeliy>. – Дата доступа: 10.11.2020.

119. Семенов, А. Б. Тiхо- и PIM-технологии в современном двигателестроении / А. Б. Семенов, А. Н. Муранов, Б. И. Семенов // Двигатель-2017 : материалы Междунар. науч.-технич. конф., посвященной 110-летию специальности «Поршневые двигатели». – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – С. 37–38.

120. Мясникова, О. В. Цифровая трансформация логистических систем дистрибуции при переходе на модели экономики замкнутого цикла / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. – 2018. – № 2 (4). – С. 3–10.

121. Маклаков, А. Современные формы международной торговли: торговля комплектным оборудованием [Электронный ресурс] / А. Маклаков. – Режим доступа: http://www.observer.materik.ru/observer/N25_93/21_14.htm. – Дата доступа: 05.12.2014.

122. Кибербезопасность прогрессивных производственных технологий в эпоху цифровой трансформации [Электронный ресурс] / Д. П. Зегжда [и др.] // Вопр. кибербезопасности. – 2018. – № 2 (26). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kiberbezopasnost-progressivnyh-proizvodstvennyh-tehnologiy-v-epohu-tsifrovoy-transformatsii>. – Дата доступа: 05.12.2019.

123. Куприяновский, В. П. Киберфизические системы как основа цифровой экономики [Электронный ресурс] / В. П. Куприяновский, Д. Е. Намиот, С. А. Синягов // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4, № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kiber-fizicheskie-sistemy-kak-osnova-tsifrovoy-ekonomiki>. – Дата доступа: 05.12.2019.

124. Организация киберфизических производственных систем с использованием технологий блокчейн и смарт-контрактов [Электронный ресурс] / М. Я. Афанасьев [и др.] // Изв. высш. учеб. заведений. Приборостроение. – 2019. – Т. 62, № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-kiberfizicheskikh-proizvodstvennyh-sistem-s-ispolzovaniem-tehnologiy-blokcheyn-i-smart-kontraktov>. – Дата доступа: 05.02.2020.

125. A survey: Cyber-physical-social systems and their system-level design methodology [Electronic resource] / J. Zeng [et al.] // Future Generation Computer Systems. – August 2016. – Mode of access: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X1630228X>. – Date of access: 05.02.2018.

126. *Иванов, Д. А.* Анализ тенденций изменения принципов управления предприятиями в условиях развития технологий Индустрии 4.0 [Электронный ресурс] / Д. А. Иванов, М. А. Иванова, Б. В. Соколов // Тр. СПИИРАН. – 2018. – № 5 (60). – Режим доступа: <https://doi.org/10.15622/sp.60.4>. – Дата доступа: 05.02.2020.

127. *Мясникова, О. В.* Трансформация производственно-логистической системы в социкиберфизическую: роль цифровых технологий / О. В. Мясникова // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 14 мая 2020 г.). – Минск : БГЭУ, 2020. – С. 396–397.

128. *Мясникова, О. В.* Цифровая трансформация структуры производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // Основные тенденции экономического развития Республики Беларусь : сб. докл. II Науч.-практ. Круглого стола преподавателей, аспирантов и студентов, Минск, 15 апреля 2020 г. / БГУ, экон. фак. ; редкол. : А. М. Сидорова (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2020. – С. 117–119.

129. Индустрия 4.0: Создание цифрового предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global_industry2016_rus.pdf. – Дата доступа: 20.11.2017.

130. Национальная технологическая инициатива (НТИ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tadviser.ru/a/329528>. – Дата доступа: 20.04.2018.

131. Интернет вещей в логистике: совместный отчет DHL и Cisco 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://json.tv/tech_trend_find/internet-veschey-v-logistike-sovmestnyy-otchet-dhl-i-cisco-20160511113055. – Дата доступа: 30.09.2017.

132. *Rogovskiy, S.* Интернет вещей (IoT) в логистике [Электронный ресурс] / S. Rogovskiy. – Режим доступа: <https://www.searates.com/ru/blog/post/internet-veshchei-iot-v-logistike>. – Дата доступа: 10.12.2018.

133. *Гарифуллин, Р. Ф.* Повышение безопасности логистических операций за счет внедрения носимых устройств / Р. Ф. Гарифуллин // Вестн. НЦБЖД. – 2016. – № 4 (30). – С. 11–14.

134. Экзоскелеты, или «трансформеры», на производстве и в логистике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trans.info/ru/ekzoskieliety-ili-transformiery-na-proizvodstvie-i-v-loghistikie-vidieo-592e627cbb04fa513b8b47c5-19656>. – Дата доступа: 10.12.2018.

135. Складские работники, грузчики и экспедиторы в скором времени могут получить возможности железного человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nbp.su/news/detail/zheleznyu-chelovek-uzhe-ryadom/>. – Дата доступа: 03.05.2019.

136. Роботы, автономные робототехнические системы, искусственный интеллект и вопросы трансформации рынка транспортно-логистических услуг в условиях цифровизации экономики [Электронный ресурс] / И. А. Соколов [и др.] // International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – № 4. – Режим

доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/roboty-avtonomnye-robototekhnicheskie-sistemy-iskusstvennyy-intellekt-i-voprosy-transformatsii-rynka-transportnologisticheskikh-uslug>. – Дата доступа: 10.02.2019.

137. *Ефимов, А.* Как роботы могут работать с человеком вместе (а не вместо) [Электронный ресурс] / А. Ефимов. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/416193/>. – Дата доступа: 10.12.2018.

138. *Иванова, А. В.* Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения [Электронный ресурс] / А. В. Иванова // Стратег. решения и риск-менеджмент. – 2018. – № 3 (108). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-virtualnoy-i-dopolnennoy-realnosti-vozmozhnosti-i-prepyatstviya-primeneniya>. – Дата доступа: 10.12.2018.

139. *Яковлев, Б. С.* Классификация и перспективные направления использования технологии дополненной реальности [Электронный ресурс] / Б. С. Яковлев, С. И. Пустов // Изв. ТулГУ. Техн. науки. – 2013. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-i-perspektivnye-napravleniya-ispolzovaniya-tehnologii-dopolnennoy-realnosti>. – Дата доступа: 10.12.2018.

140. *Биленко, П.* 15 ключевых компонентов современного производства, которые работают не на всех предприятиях России (и если не работают на вашем, вы проигрываете) [Электронный ресурс] / П. Биленко, С. Лысенко. – Режим доступа: <http://www.up-pro.ru/library/opinion/komponenty-proizvodstva.html>. – Дата доступа: 21.02.2017.

141. Корпоративные системы нового поколения: конспект лекций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://khpi-iip.mipk.kharkiv.edu/library/itob/itob05.html>. – Дата доступа: 21.02.2017.

142. *Фролов, Е. Б.* MES-системы, как они есть или эволюция систем планирования производства [Электронный ресурс] / Е. Б. Фролов, Р. Р. Загидуллин. – Режим доступа: <http://www.management.com.ua/ims/ims142.html>. – Дата доступа: 21.02.2017.

143. *Степанов, Д. Ю.* Интеграция ERP и MES-систем: взгляд сверху [Электронный ресурс] / Д. Ю. Степанов. – Режим доступа: <http://stepanovd.com/science/article/34-2016-1-erpmes>. – Дата доступа: 21.02.2017.

144. *Амбарцумян, А. А.* Анализ функциональности систем управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования [Электронный ресурс] / А. А. Амбарцумян, А. С. Хадеев // Проблемы управления. – 2005. – № 6. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-funktsionalnosti-sistem-upravleniya-tehnicheskim-obslyuzhivaniem-i-remontom-oborudovaniya>. – Дата доступа: 21.02.2017.

145. *Аникин, Б. А.* Методические рекомендации по управлению цепями поставок в индустрии моды / Б. А. Аникин, Н. Ю. Баркова // Вестн. ун-та (Государственный университет управления). – 2017. – № 1. – С. 140–143.

146. Методы управления жизненным циклом приборов и систем в расширенных предприятиях: учеб. пособие / Е. И. Яблочников [и др.]. – СПб : СПб ГУИТМО, 2009. – 149 с.

147. *Бауэрсокс, Д. Д.* Логистика: интегрированная цепь поставок : пер. с англ. / Д. Д. Бауэрсокс, Д. Д. Клосс. – 2-е изд. – М. : Олимп-Бизнес, 2005. – 639 с.
148. *Гаррисон, А.* Логистика. Стратегия управления и конкурентирования через цепочки поставок : учебник : пер. 3-го англ. издания / Алан Гаррисон, Ремко Ван Гок. – М. : Дело и Сервис, 2010. – 367 с.
149. *Граничин, О. Н.* Информационные технологии в управлении / О. Н. Граничин, В. И. Кияев. – М. : БИНОМ : Лаборатория знаний, 2008. – 336 с.
150. *Божанов, П. В.* Инструменты управления логистическими системами перевозок грузов / П. В. Божанов, А. Д. Молокович // Бизнес. Инновации. Экономика : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ ; редкол. : Г. А. Хацкевич (предс.) [и др.]. – Минск : Ин-т бизнеса БГУ, 2018. – Вып. 2. – С. 145–153.
151. Розничная торговля в цифровой экономике / В. П. Куприяновский [и др.] // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – № 7. – С. 1–12. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/roznichnaya-torgovlya-v-tsifrovoy-ekonomike>. – Дата доступа: 21.02.2017.
152. *Гулиева, Э.* Магазин без товаров и онлайн-примерка – десять трендов электронной коммерции 2018 года [Электронный ресурс] / Э. Гулиева. – Режим доступа: <https://vc.ru/marketing/34112-magazin-bez-tovarov-i-onlayn-primerka-desyat-trendov-elektronnoy-kommercii-2018-goda>. – Дата доступа: 21.04.2018.
153. *Стародубова, М.* Будущее электронной коммерции: прогноз до 2026 года [Электронный ресурс] / М. Стародубова. – Режим доступа: <https://www.ecwid.ru/blog/future-of-ecommerce-2026.html>. – Дата доступа: 21.04.2018.
154. *Чурилов, Д.* Как цифровые технологии влияют на продажи в ритейле [Электронный ресурс] / Д. Чурилов. – Режим доступа: <https://ediweb.com/ru-ru/company/blog/kak-cifrovyte-tehnologii-vliyayut-na-prodazhi-v-ritejle>. – Дата доступа: 03.03.2019.
155. *Гиза, Ф.* Интеграция подсистемы управления цепочками поставок в инновационную деятельность высокотехнологичных предприятий / Ф. Гиза, А. А. Зайцев // Вопр. инновац. экономики. – 2015. – Т. 5, № 3. – С. 63–78.
156. *Краснов, С. В.* Информационные технологии в организации производства наукоемкой продукции / С. В. Краснов, О. Ю. Федосеева // Вестн. ВУиТ. – 2011. – № 17. – С. 58–63.
157. Руководство по цифровой трансформации производственных предприятий [Электронный ресурс] / А. Боровков [и др.]. – Режим доступа: http://assets.fea.ru/uploads/nticenter/112019/Rukovodstvo_po_cifrovizacii_proizvodstvennyh_predpriyatij.pdf. – Дата доступа: 21.06.2020.
158. Теоретические основы разработки и моделирования систем автоматизации : учеб. пособие / А. М. Афонин [и др.]. – М. : Форум, 2011. – 192 с.
159. *Хаймович, И. Н.* Совершенствование технологического процесса многономенклатурного производства на основе имитационного моделирования гибких производственных линий в цехе [Электронный ресурс] / И. Н. Хаймович, М. А. Фролов, Н. О. Куралесова // Вестн. ВУиТ. – 2016. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tehnologicheskogo-protssesa>

mnogonomenklaturnogo-proizvodstva-na-osnove-imitatsionnogo-modelirovaniya-gibkih. – Дата доступа: 21.02.2017.

160. Терминология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/4-72333.html>. – Дата доступа: 21.02.2017.

161. *Беляцкий, Н. П.* Цифровые трансформации управления персоналом [Электронный ресурс] / Н. П. Беляцкий, А. А. Подупейко. – Режим доступа: http://edoc.bseu.by:8080/bitstream/edoc/83563/1/Belyatskiy_24_30.pdf. – Дата доступа: 21.09.2020.

162. 6 Trends on the Gartner Hype Cycle for the Digital Workplace, 2020 // Gartner. – Mode of access: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/6-trends-on-the-gartner-hype-cycle-for-the-digital-workplace-2020/>. – Date of access: 21.09.2020.

163. ЕАМ – система, ориентированная на сокращение затрат, связанных с обслуживанием оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pro-spo.ru/egr/2069-eam->. – Дата доступа: 21.02.2018.

164. *Родин, М.* Применение аддитивного построения (3D-печати) для изготовления пресс-форм [Электронный ресурс] / М. Родин. – Режим доступа: https://i3d.ru/blog/dlya_mozayki/pressformy/. – Дата доступа: 21.09.2020.

165. *Пензев, В.* Средства комплектации при подборе заказов [Электронный ресурс] / В. Пензев. – Режим доступа: <https://sitmag.ru/article/13795-podhodyk-komplektatsii-zakazov-i-sistemy-upravleniya-podborom-i-sortirovki-tovara-v-zakaz-sups-sredstva-komplektatsii-pri-podbore-zakazov-ch-1>. – Дата доступа: 21.09.2020.

166. Logistics 4.0 and smart supply chain management in Industry 4.0 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/supply-chain-management-scm-logistics/>. – Date of access: 30.10.2018.

167. *Burke, R.* The smart factory: Responsive, adaptive, connected manufacturing [Electronic resource] / R. Burke [et al.]. – Mode of access: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry40/smartfactoryconnectedmanufacturing.html>. – Date of access: 30.10.2017.

168. The digital supply network meets the future of work: people, machines, and a new era of collaboration [Electronic resource] / A. Mussomeli [et al.]. – Mode of access: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/smart-automation-talent-digital-supply-network.html>. – Date of access: 03.02.2018.

169. *Мясникова, О. В.* Трансформация цепей поставок как ответ на вызовы четвертой промышленной революции / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. – 2018. – № 1 (3). – С. 50–54.

170. *Jagjit Singh Srati.* The digital supply chain revolution: A mountain worth climbing? [Electronic resource] / Jagjit Singh Srati. – Mode of access: <https://www.weforum.org/agenda/2018/01/thedigitalsupplychainrevolutionamountainworthclimbing/>. – Date of access: 20.02.2018.

171. *Иванов, Д. А.* Управление цепями поставок / Д. А. Иванов. – СПб. : Политехн. ун-т, 2010. – 660 с.

172. *Мясникова, О. В.* Платформенные решения для цифровой трансформации производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // *Цифровая трансформация*. – 2020. – № 2 (11). – С. 5–15.

173. Industry 4.0: How Digitalization Makes the Supply Chain More Efficient, Agile, and customer-focused [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.strategyand.pwc.com/report/digitization-more-efficient>. – Date of access: 30.10.2018.

174. *Мясникова, Л. А.* Логистика аддитивных производств / Л. А. Мясникова // *Вестн. фак. упр. СПбГЭУ*. – 2017. – № 1–1. – С. 419–422.

175. Логистика без логистов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rtltd.com/news/Logistika_bez_logistov/. – Дата доступа: 10.12.2018.

176. *Lennane, A.* «Huge risk» to some supply chain flows as 3D printing evolves, warns expert [Electronic resource] / A. Lennane. – Mode of access: <https://theloadstar.com/huge-risk-to-some-supply-chain-flows-as-3d-printing-evolves-warns-expert/>. – Date of access: 10.12.2018.

177. *Сергеев, В. И.* Развитие методологии контроля и мониторинга цепей поставок предприятий сетевой розницы / В. И. Сергеев, И. В. Сергеев // *Экон. отношения*. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 1463–1486.

178. *Лейнерт, Е. А.* Международная производственная кооперация [Электронный ресурс] / Е. А. Лейнерт. – Режим доступа: <http://ekonomic.narod.ru/pbene/econom/econom17.htm>. – Дата доступа: 05.12.2019.

179. *Мясникова, О. В.* Формирование интегрированных систем производства и поставок в эпоху цифровизации / О. В. Мясникова // *Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 17 мая 2018 г.)*. – Минск : БГЭУ, 2018. – С. 326–327.

180. *Покатаева, Е.* Цифровое предприятие: битва сетевых платформ. Обзор. Часть 3 / Е. Покатаева // *Станкоинструмент*. – 2018. – № 2. – С. 56–66.

181. *Waggoner, P.* Optimizing the Modern Supply Chain Enterprise with a Control Tower for CFOs [Electronic resource] / P. Waggoner. – Mode of access: https://www.supplychain247.com/article/optimizing_the_modern_supply_chain_enterprise_with_a_control_tower_for_cfos. – Date of access: 20.04.2019.

182. *Синьковская, В. Н.* Digital-технологии как основа развития омниканального маркетинга [Электронный ресурс] / В. Н. Синьковская. – Режим доступа: <http://innomarket.pro/servis/38-digital-tekhnologii-kak-osnova-razvitiya-omnikanalnogo-marketinga.html>. – Дата доступа: 05.12.2018.

183. *Муравская, М.* Омниканальность в действии: клиентский опыт и мировые тенденции [Электронный ресурс] / М. Муравская. – Режим доступа: <https://vc.ru/flood/45238-omnikanalnost-v-deystvii-klientskiy-opyt-i-mirovye-tendencii>. – Дата доступа: 05.12.2018.

184. *Гераськин, А.* Логист.ру/2016: к чему следует готовиться профессионалам, чтобы не стать динозаврами [Электронный ресурс] / А. Гераськин. – Режим доступа: <https://customsforum.ru/news/big/logist-ru-2016-k-chemu-sleduet>

gotovitsya-professionalam-chtoby-ne-stat-dinozavrami-544922.html. – Дата доступа: 05.10.2016.

185. *Воеводко, Ю.* Безубыточная логистика омниканального ритейла: как соответствовать ожиданиям клиента в omnichannel [Электронный ресурс] / Ю. Воеводко. – Режим доступа: https://new-retail.ru/business/bezubytochnaya_logistika_omnikanalnogo_riteyla_kak_sootvetstvovat_ozhidaniyam_klienta_v_omnichannel_4781/. – Дата доступа: 05.12.2018.

186. *Гаспарян, В.* Омниканальный ритейл в России: мифы и реальность [Электронный ресурс] / В. Гаспарян. – Режим доступа: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/about-deloitte/ru/ru_omni_ispr_article.pdf. – Дата доступа: 05.12.2018.

187. *Annunziata, M.* Manufacturing-As-A-Service Platforms: The New Efficiency Revolution [Electronic resource] / M. Annunziata. – Mode of access: <https://www.forbes.com/sites/marcoannunziata/2019/05/13/manufacturing-as-a-service-platforms-the-new-efficiency-revolution/?sh=598331a757fd>. – Date of access: 20.11.2020.

188. *Но, Н.* The Logistics Players – From 1PL to 5PL / Н. Но, С. Lim, Morgan Stanley. – China Logistics. – 2001. – P. 8–9.

189. *Кархова, С. А.* От 5PL-провайдеров к логистике нулевого уровня / С. А. Кархова // Гос. советник. – 2019. – № 1 (25). – С. 17–24.

190. *Иванов, Д. А.* Логистика. Стратегическая кооперация / Д. А. Иванов. – М. : Вершина, 2006. – 176 с.

191. Концепция развития цифровой экономики России [Электронный ресурс] // Фонд развития цифровой экономики «Цифровые Платформы». – Режим доступа: http://www.fidp.ru/images/concept/FIDP_DigitalEconomyConcept.pdf. – Дата доступа: 19.01.2019.

192. Цифровые платформы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D1%8B_\(Digital_Platforms\)](http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D1%8B_(Digital_Platforms)). – Дата доступа: 02.12.2019.

193. Подходы к определению и типизации цифровых платформ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://files.data-economy.ru/digital_platforms_project.pdf. – Дата доступа: 02.12.2019.

194. Платформенный подход Intel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=8655>. – Дата доступа: 02.12.2019.

195. *Гелишанов, И. З.* Цифровые платформы в экономике: сущность, модели, тенденции развития / И. З. Гелишанов, Т. Н. Юдина, А. В. Бабкин // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Экон. науки. – 2018. – Т. 11, № 6. – Режим доступа: https://economy.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2018/6/02_Gelishanov-Yudina-Babkin.pdf. – Дата доступа: 16.02.2019.

196. *Зеневич, А. М.* Цифровая платформа как элемент цифровой экономики / А. М. Зеневич, З. В. Пунчик // Науч. тр. Белорус. гос. экон. ун-та / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. экон. ун-т ; редкол. : В. Н. Шимов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГЭУ, 2019. – Вып. 12. – С. 187–193.

197. Opening Platforms: How, When and Why? [Electronic resource] / Т. Eisenmann [et al.]. – Mode of access: <http://www.hbs.edu/faculty/Publication%20Files/09-030.pdf>. – Date of access: 20.11.2018.

198. Месропян, В. Цифровые платформы – новая рыночная власть [Электронный ресурс] / В. Месропян. – Режим доступа: <https://www.econ.msu.ru/sys/raw.php?o=46781&p=attachment>. – Дата доступа: 19.01.2019.

199. ЕАЭС запускает создание экосистемы цифровых транспортных коридоров и приглашает к партнерству всех заинтересованных лиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurasiancommission.org/ru/nae/news/Pages/19-06-2019-2.aspx>. – Дата доступа: 02.07.2019.

200. Михайловский, И. А. Концепция построения национальной платформы для системы электронной логистики [Электронный ресурс] / И. А. Михайловский. – Режим доступа: https://digitalrzd.ru/f/prezentaciya_ipps.pdf. – Дата доступа: 02.12.2019.

201. Мясникова, О. В. Разработка подходов к созданию организационно-функциональной структуры экосистемы цифровых транспортных коридоров Евразийского экономического союза / О. В. Мясникова, Т. Г. Таболич // Цифровая трансформация. – 2020. – № 1 (5). – С. 23–35.

202. Мясникова, О. В. Проектирование системы логистических сервисов национальной цифровой платформы в экосистеме цифровых транспортных коридоров ЕАЭС / О. В. Мясникова // Экономика и управление производством : материалы 84-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 3–14 февраля 2020 г. [Электронный ресурс] / БГТУ ; отв. за изд. И. В. Войтов. – Минск : БГТУ, 2020. – Режим доступа: <https://www.belstu.by/Portals/0/userfiles/37/0007-Ekonomika-i-upravlenie-proizvodstvom-PPS-2020.pdf>.

203. Trade set to plunge as COVID-19 pandemic upends global economy: Press Release [Electronic resource] // The World Trade Organization (Apr. 8, 2020). – Mode of access: https://www.wto.org/english/news_e/pres20_e/pr855_e.pdf. – Date of access: 30.09.2020.

204. Коронавирус COVID-19: «великий карантин» и его воздействие на малый бизнес [Электронный ресурс] // International Trade Centre, 2020. – Режим доступа: https://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/Publications/SMECO2020/ITC_SMECO-2020ExSummary_Russian.pdf. – Дата доступа: 30.09.2020.

205. Gartner Says Global IT Spending to Decline 8% in 2020 Due to Impact of COVID-19: Press Release [Electronic resource] // Gartner. – May 13, 2020. – Mode of access: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-05-13-gartner-says-global-it-spending-to-decline-8-percent-in-2020-due-to-impact-of-covid19>. – Date of access: 30.09.2020.

206. COVID-19 Impacts on the Road Transport Industry: Executive summary [Electronic resource] // IRU. – June 29, 2020. – Mode of access: <https://www.iru.org/resources/iru-library/covid-19-impacts-road-transport-industry-executive-summary?FormCompleted=1>. – Date of access: 30.09.2020.

207. Ready, set, go: Reinventing the organization for speed in the post-COVID-19 era / Aaron De Smet [et al.] // McKinsey Global Institute. – Mode of access: <https://www.mckinsey.com/business-functions/organization/our-insights/ready-set-go-reinventing-the-organization-for-speed-in-the-post-covid-19-era>. – Date of access: 30.09.2020.

208. Risk, resilience, and rebalancing in global value chains: Report [Electronic resource] // McKinsey Global Institute. – Mode of access: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/risk-resilience-and-rebalancing-in-global-value-chains>. – Date of access: 30.09.2020.

209. The next normal: The recovery will be digital: Report [Electronic resource] // McKinsey Global Institute. – Mode of access: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/How%20six%20companies%20are%20using%20technology%20and%20data%20to%20transform%20themselves/The-next-normal-the-recovery-will-be-digital.pdf?shouldIndex=false>. – Date of access: 30.09.2020.

210. COVID-19: Orchestrating the recovery of organizations and supply chains [Electronic resource] // Deloitte. – Mode of access: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/About-Deloitte/COVID-19/gx-CoronaVirus-POV-Orchestrating-recovery.pdf>. – Date of access: 30.09.2020.

211. Мясникова, О. В. Цифровая трансформация производства: от осведомленности к осуществлению / О. В. Мясникова // Государственное регулирование экономики и повышение эффективности деятельности субъектов хозяйствования : XV Междунар. науч.-практич. конф., 25–26 апр. 2019 г. : сб. науч. ст. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь ; редкол. : Г. В. Пальчик (пред.) [и др.]. – Минск : Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2019. – С. 140–141.

212. Cooper, R. G. Agile–Stage-Gate Hybrids, Research / R. G. Cooper // Technology Management. – 2016. – Vol. 59, № 1. – P. 21–29.

213. Turnali, K. Lean Innovation: Design Thinking Meets Lean Startup For The Enterprise [Electronic resource] / K. Turnali // Forbes, 2016. – Mode of access: <https://www.forbes.com/sites/sap/2016/04/07/lean-innovation-design-thinking-meets-lean-startup-for-the-enterprise/#222bc3ad45d4>. – Date of access: 20.02.2018.

214. Cooper, B. What is Lean Innovation? Components and Examples [Electronic resource] / B. Cooper // Moves the needle, 2018. – Mode of access: <https://www.movestheneedle.com/all-blog/2018/8/14/what-is-lean-innovation-components-and-examples>. – Date of access: 28.09.2018.

215. Waloszek, G. Introduction to Design Thinking [Electronic resource] / G. Waloszek // SAP User Experience Community, 2012. – Mode of access: <https://experience.sap.com/skillup/introduction-to-design-thinking/>. – Date of access: 28.09.2018.

216. Miasnikova, O. V. AGILE and LEAN in the production enterprise innovative processes managing / O. V. Miasnikova // Инновационные процессы и корпоративное управление : материалы X Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 15–31 марта 2018 г. : сб. ст. / Ин-т бизнеса БГУ ; редкол.: В. В. Апанасович

(гл. ред.), А. И. Ковалинский, Е. М. Минченко. – Минск : Колорград, 2018. – С. 206–212.

217. *Мясникова, О. В.* Развитие логистических систем инструментами оптимизации: возможности LEAN / О. В. Мясникова, Д. Д. Гридюшко // Бизнес. Экономика. Инновации : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса и менеджмента технологий БГУ ; редкол.: В. В. Апанасович (пред. [и др.]). – Минск : Печатный Дом «Вишневка», 2017. – Вып. 1. – С. 103–109.

218. *Ward, Allen C.* Lean Product and Process Development / A. C. Ward, II Sobek, K. Durward. – 2nd ed. – Lean Enterprise Institute, Inc., 2014. – 349 p.

219. Lean Product Development Principles and Practices [Electronic resource] // NPD solutions, 2016. – Mode of access: <http://www.npd-solutions.com/lpdpractices.html>. – Date of access: 28.09.2018.

220. SDLC – Agile Model [Electronic resource] // Tutorialspoint, 2018. – Mode of access: https://www.tutorialspoint.com/sdlc/sdlc_agile_model.htm. – Date of access: 28.09.2018.

221. *Мясникова, О. В.* Проблемы оптимизации при проектировании логистических дистрибутивных цепей / О. В. Мясникова // Логистические системы и процессы в современных экономических условиях : материалы II Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 1–15 дек. 2014 г. : сб. ст. / Мин-во образования Респ. Беларусь. – Минск : Нац. б-ка Беларуси, 2015. – С. 140–145.

222. *Мясникова, О. В.* Реинжиниринговый подход к оптимизации производственных процессов предприятия: обоснование концепции / О. В. Мясникова // Тр. Минского ин-та упр. – 2009. – № 2. – С. 25–33.

223. *Мясникова, О. В.* Оптимизация производственных процессов в системе инновационной трансформации предприятия / О. В. Мясникова // Современные технологии управления социально-экономическими процессами : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 30 мая 2008 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: В. Ф. Володько [и др.]. – Минск, 2008. – С. 237–243.

224. *Мясникова, О. В.* Управление конкурентоспособностью предприятия и применение организационно-экономического механизма оптимизации производственных процессов / О. В. Мясникова // Тр. Минского ин-та упр. – 2009. – № 1. – С. 54–62.

225. INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, Version 2a, 2004 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://productrealize.ir/library/INCOSE-Systems-Engineering-Handbook-A-%E2%80%9CWhat-To%E2%80%9D-Guide-For-.pdf>. – Date of access: 20.08.2018.

226. *Круглов, М. Г.* Анализ архитектуры (принципов построения) системы управления жизненным циклом военной продукции в США [Электронный ресурс] / М. Г. Круглов. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/51589099-Analiz-arhitektury-principov-postroeniya-sistemy-upravleniya-zhiznennym-ciklom-voennoy-produkcii-v-ssha.html>. – Дата доступа: 20.04.2018.

227. *Сычев, В. А.* Системный инжиниринг – процессы и стандарты [Электронный ресурс] / В. А. Сычев // Молодой ученый. – 2018. – № 32. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/218/52310/>. – Дата доступа: 20.01.2019.

228. Романов, А. А. Смена парадигмы разработки инновационной продукции: от разрозненных НИОКР к цифровым проектам полного жизненного цикла [Электронный ресурс] / А. А. Романов // Ракетно-косм. приборостроение и информ. системы. – 2017. – Т. 4, вып. 2. – Режим доступа: http://russian-spacesystems.ru/wp-content/uploads/2017/06/8_s68_040217.pdf. – Дата доступа: 20.04.2018.

229. Боровков, А. И. Цифровые двойники и цифровые тени в высокотехнологичной промышленности [Электронный ресурс] / А. И. Боровков. – Режим доступа: <https://4science.ru/articles/Cifrovie-dvoyniki-i-cifrovie-teni-visokotehnologichnoi-promishlennosti>. – Дата доступа: 28.05.2020.

230. Владыкин, А. А. Теория ограничений систем в реализации инновационных изменений на промышленных предприятиях [Электронный ресурс] / А. А. Владыкин // Интернет-журн. «Науковедение». – 2016. – № 2 (33). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-ogranicheniy-sistem-v-realizatsii-innovatsionnyh-izmeneniy-na-promyshlennyh-predpriyatiyah>. – Дата доступа: 20.04.2018.

231. Мебадури, З. А. Совершенствование логистической системы производственного предприятия с помощью инструментов теории ограничений [Электронный ресурс] / З. А. Мебадури, И. В. Леошина // Проблемы экономики и менеджмента. – 2012. – № 4 (8). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-logisticheskoy-sistemy-proizvodstvennogo-predpriyatiya-s-pomoschyu-instrumentov-teorii-ogranicheniy>. – Дата доступа: 20.04.2018.

232. Бардаков, А. А. Применение теории ограничения систем Голдратта в рамках реинжиниринга бизнес-процессов производственного планирования на промышленном предприятии [Электронный ресурс] / А. А. Бардаков, Д. А. Корнилов // Иннов: электрон. науч. журн. – 2017. – № 4 (33). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-teorii-ogranicheniya-sistem-goldratta-v-ramkah-reinzhiniringa-biznes-protsessov-proizvodstvennogo-planirovaniya-na>. – Дата доступа: 20.04.2018.

233. Schragenheim, E. The big slogan and the potential real value of Industry 4.0 [Electronic resource] / E. Schragenheim, J. Kanz. – Mode of access: <https://elischragenheim.com/2018/10/01/the-big-slogan-and-the-potential-real-value-of-industry-4-0/>. – Date of access: 20.02.2018.

234. Плюсков, А. Рыночный подход к оценке стоимости действующего предприятия / А. Плюсков // Финансы. Учет. Аудит. – 2002. – № 8. – С. 14–16.

235. Мясникова, О. В. Развитие логистических систем в условиях цифровой трансформации бизнеса / О. В. Мясникова. – Минск : Колорград, 2019. – 203 с.

236. Мясникова, О. В. Многокритериальная балльно-рейтинговая модель оптимизации производственных процессов как инновационный инструмент управления конкурентоспособностью предприятия : в 2 ч. / О. В. Мясникова // Экономика и управление. – Ч. 1. – 2008. – № 3. – С. 78–86.

237. Мясникова, О. В. Многокритериальная балльно-рейтинговая модель оптимизации производственных процессов как инновационный инструмент управ-

ления конкурентоспособностью предприятия : в 2 ч. / О. В. Мясникова // Экономика и управление. – Ч. 2. – 2008. – № 4. – С. 67–74.

238. *Бродецкий, Г. Л.* Моделирование логистических систем. Оптимальные решения в условиях риска / Г. Л. Бродецкий. – М. : Вершина, 2006. – 374 с.

239. Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Руководящие указания по обеспечению кибербезопасности : ISO/IEC 27032:2012. – Введ. 15.07.2012. – М. : Стандартиформ, 2020. – 58 с.

240. *Головенчик, Г. Г.* Проблемы кибербезопасности в условиях цифровой трансформации экономики и общества / Г. Г. Головенчик // Экономика. Управление. Инновации. – 2018. – № 2 (4). – С. 23–33.

241. *Удалов, Д. В.* Угрозы и вызовы цифровой экономики [Электронный ресурс] / Д. В. Удалов // Экономическая безопасность и качество. – 2018. – № 1 (30). – С. 12–18. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ugrozy-i-vyzovy-tsifrovoyu-ekonomiki>. – Дата доступа: 29.11.2018.

242. Norton Cyber Security Insights Report 2017. United States Results [Electronic resource] // Symantec. – Mode of access: <https://www.symantec.com/content/dam/symantec/docs/about/2017-nc-sir-united-states-results-en.pdf>. – Date of access: 29.11.2018.

243. *Буренина, И. В.* Социально-экономические трансформации, связанные с реализацией проектов разработки и внедрения технологий Индустрии 4.0 / И. В. Буренина, М. М. Гайфуллина, С. Ф. Сайфуллина // Вестн. Евразийской науки. – 2018. – № 5. – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/73ECVN518.pdf>. – Дата доступа: 09.02.2019.

244. *Квачев, В. Г.* Индустрия 4. 0: поражение работы или победа творческого труда? [Электронный ресурс] / В. Г. Квачев, М. А. Юдина // Гос. упр. Электрон. вестн. – 2017. – № 64. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/industriya-4-0-porazhenie-raboty-ili-pobeda-tvorcheskogo-truda>. – Дата доступа: 09.01.2019.

245. От кадров к талантам [Электронный ресурс] // Отчет The Boston Consulting Group (BCG). – 2017. – Режим доступа: http://image-src.bcg.com/Images/BCG_Review_November-2017_tcm27-178366.pdf. – Дата доступа: 03.03.2019.

246. *Мясникова, О. В.* Управление персоналом производственно-логистических систем в условиях перехода к Индустрии 4.0 / О. В. Мясникова // Инновационные процессы и корпоративное управление : материалы XI Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 11–25 марта 2019 г. / Ин-т бизнеса БГУ ; редкол. : А. И. Ковалинский, Г. А. Хацкевич, Е. М. Минченко. – Минск : Ин-т бизнеса БГУ, 2019. – С. 196–200.

247. *Мясникова, О. В.* Переподготовка и повышение квалификации специалистов по логистике в Институте бизнеса и менеджмента технологий БГУ [Электронный ресурс] / О. В. Мясникова // Логистические системы и процессы в условиях экономической нестабильности : материалы IV Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 6–7 дек. 2016 г. / Ин-т бизнеса и менеджмента технологий БГУ ; фак. междунар. отношений БГУ ; редкол. : В. В. Апанасович (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 196–199.

248. *Мясникова, О. В.* Формирование компетенций персонала в контексте цифровой трансформации производственно-логистических систем [Электронный ресурс] / О. В. Мясникова // Цифровая трансформация образования: сб. материалов 2-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27 марта 2019 г. / отв. ред. А. Б. Бельский. – Минск : ГИАЦ Минобразования, 2019. – Режим доступа: http://dtconf.unibel.by/doc/Conference_2019.pdf. – С. 383–387.

249. *Мясникова, О. В.* Формирования информационно-образовательной среды для подготовки специалистов в области логистики в условиях ее цифровой трансформации / О. В. Мясникова // Актуальные проблемы бизнес-образования : материалы XVII Междунар. науч.-практич. конф., 19–20 апр. 2018 г., Минск / Бел. гос. ун-т, Ин-т бизнеса и менеджмента технологий, Ассоциация бизнес-образования ; редкол. : В. В. Апанасович (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Нац. б-ка Беларуси, 2018. – С. 154–157.

250. *Кудашов, В. И.* Инжиниринговые центры – важнейшая составляющая инновационной инфраструктуры Беларуси / В. И. Кудашов, Е. О. Пицало // Экономика и управление. – 2016. – № 3 (47). – С. 35–40.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
---------------	---

Глава 1 ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКЕ

1.1. Сущность производственно-логистической системы	9
1.2. Иерархия производственно-логистических систем	15
1.3. Структура производственно-логистических систем	25

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Развитие производственно-логистических систем в условиях последовательной смены технологических укладов	41
2.2. Цифровая трансформация экономики как новое условие функционирования производственно-логистических систем	46
2.3. Влияние четвертой промышленной революции на состав, структуру, процессы и модели работы производственно-логистических систем	53
2.4. Цифровая трансформация производственно-логистических систем	59

Глава 3 МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

3.1. Концепция цифровой трансформации производственно- логистических систем	67
3.2. Поточковый аспект цифровой трансформации производственно- логистической системы	87
3.3. Цифровая трансформация производственно-логистической системы в социкиберфизическую систему	105

3.4. Цифровая трансформация управления потоками в производственно-логистической системе	114
3.5. Цифровая трансформация подсистем производственно-логистической системы на уровне предприятия	123

Глава 4

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УМНУЮ СЕТЬ ПОСТАВОК

4.1. Динамические Умные сети поставок как результат трансформации производственно-логистической системы группы предприятий	155
4.2. Основные тренды трансформации производственно-логистической системы группы предприятий	159
4.3. Платформенные решения для формирования динамической Умной сети поставок	174
4.4. Обеспечение устойчивости, гибкости и надежности как целевых ориентиров при создании Умных сетей поставок	185

Глава 5

МЕХАНИЗМЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

5.1. Цифровая трансформация в системе организации и осуществления проектов развития производственно-логистических систем	193
5.2. Управление процессом цифровой трансформации производственно-логистических систем	199
5.3. Системный и непрерывный инжиниринг в механизме цифровой трансформации производственно-логистических систем	204
5.4. Разработка проектных решений по цифровой трансформации производственно-логистических систем	207
5.5. Оценка эффективности проектов цифровой трансформации производственно-логистических систем	213
5.6. Риски цифровой трансформации производственно-логистических систем и пути их снижения	226
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	235
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	243

Научное издание

Мясникова Ольга Вячеславовна

**РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ: ТЕОРИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ И МЕХАНИЗМЫ
ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ**

Редактор *Н. Ф. Акулич*

Дизайн обложки *И. К. Бувич*

Технический редактор *Т. К. Раманович*

Компьютерная верстка *И. К. Бувич*

Подписано в печать 31.05.2021. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Уч.-изд. л. 17,09. Усл. печ. л. 15,58.

Тираж 100 экз. (1-й завод 1–50 экз.). Заказ 177.

Государственное учреждение образования

«Институт бизнеса Белорусского государственного университета».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/532 от 14.09.2018.

Ул. Обойная, 7, 220004, Минск.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ЗАО «ОРГСТРОЙ».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/182 от 15.02.2016.

Ул. Берестянская, 16, 220034, Минск.