

DOI: 10.17323/2587-814X.2023.4.73.93

Методы и модели обоснования прикладных сценариев цифровизации производственных и бизнес-процессов сетевых предприятий

Ю.Ф. Тельнов 

E-mail: telnov.yuf@rea.ru

В.А. Казаков 

E-mail: kazakov.va@rea.ru

А.А. Брызгалов 

E-mail: bryzgalov.aa@rea.ru

И.Г. Федоров 

E-mail: fedorov.ig@rea.ru

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

Адрес: Россия, 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36

Аннотация

Процесс цифровой трансформации предприятий связан с организацией производственных и бизнес-процессов в рамках выбираемых типов бизнес-моделей и цифровых платформ, распределением и экономическим обоснованием ролей участников сетевых взаимодействий, обеспечением семантической интероперабельности их взаимодействия. В настоящее время накоплен определенный опыт по внедрению современных бизнес-моделей цифровой трансформации предприятий, который отражен в концепциях Индустрии четвертого поколения, промышленного интернета вещей, создания киберфизических производственных систем, смарт-предприятий, интеллектуального производства. Вместе с тем, вопросы концептуального моделирования архитектуры цифровых предприятий, определяющей построение производственных и бизнес-процессов, и ее экономического обоснования в зависимости от различных факторов внешней среды и внутреннего экономического потенциала еще недостаточно исследованы и разработаны, что определяет актуальность представленной работы. Цель исследования заключается в разработке онтологических и экономических методов обоснования

прикладных сценариев цифровизации производственных и бизнес-процессов в зависимости от выбираемых типов бизнес-моделей и цифровых платформ. Для решения поставленной задачи применяется методы классификации, онтологического инжиниринга, функционально-стоимостного анализа, анализа денежных потоков доходов и расходов. В статье представлен анализ сценариев цифровизации предприятий в зависимости от видов производственных и бизнес-процессов, используемых типов бизнес-моделей и цифровых платформ. Построена онтологическая модель цифровой трансформации предприятия, обеспечивающая выбор прикладных сценариев цифровизации производственных и бизнес-процессов для различных типов бизнес-моделей и цифровых платформ. Предлагается экономическая модель обоснования вариантов построения прикладных сценариев цифровизации производственных и бизнес-процессов в зависимости от распределения ролей участников сетевого взаимодействия с использованием методов функционально-стоимостного анализа затрат и анализа денежных потоков.

Ключевые слова: сетевое предприятие, прикладной сценарий цифровизации, тип бизнес-модели, тип цифровой платформы, производственные и бизнес-процессы, онтологическая модель, экономическая модель

Цитирование: Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А., Брызгалов А.А., Федоров И.Г. Методы и модели обоснования прикладных сценариев цифровизации производственных и бизнес-процессов сетевых предприятий // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17. № 4. С. 73–93. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.4.73.93

Введение

Внедрение современных цифровых технологий в промышленности приводит к переходу от массового производства к массовой кастомизации, когда преобладающим становится выпуск мелкосерийной и единичной продукции [1]. В основе цифровой трансформации в промышленности лежит использование передовых производственных технологий на основе применения промышленного интернета вещей, киберфизических систем, цифровых двойников и платформ, искусственного интеллекта. В этой связи изменяются требования к системам управления предприятиями в части адаптивности оперативного управления и гибкости конфигурирования производственных цепочек не только на уровне одного предприятия, но и на уровне взаимодействия между предприятиями в рамках формирования сетевых бизнес-структур (сетевых предприятий).

В основе организации гибкого производства на современном этапе лежит применение киберфизических систем (CPS), интеллектуальных активов, оснащенных RFID и поддерживаемых технологией промышленного интернета вещей, и киберфизических производственных систем (CPPS), объединяющих отдельные активы в системы с помощью тех-

нологии цифровых двойников и цифровых нитей на уровне цехов, фабрик и цепочек поставок [2–4].

Развитие в Индустрии четвертого поколения современных производственных технологий существенно образом изменяет архитектуру систем управления предприятиями и временные интервалы оперативного и тактического планирования и регулирования процессов. В первую очередь организация цифровых производственных систем характерна для уровня управления отдельным оборудованием и технологическими линиями. Вместе с тем, распространение технологии цифровых двойников, реализуемых с помощью многоагентных систем, на организационные субъекты, участников цепочки создания стоимости сетевых предприятий, позволяет модернизировать системы управления производственными и бизнес-процессами.

Существующие системы цифровых двойников, описанные в [5–7], в основном ориентированы на информационное отображение состояния объектов физического и/или виртуального мира с организацией доступа к этой информации всем заинтересованным лицам, участвующим в реальных производственных или бизнес-процессах предприятия или осуществляющим управление этими процессами. Цифровые двойники также позволяют осуществлять

имитационное моделирование производственных и бизнес-процессов в целях оптимизации использования ресурсов предприятия [8–10].

Для повышения эффективности функционирования производственных систем активно ведутся разработки концепции индустриального агента, под которой понимается «автономная и самодостаточная киберфизическая сущность, представляющая функциональность одного или нескольких промышленных активов и управляющая ими, обеспечивая постоянную или временную физическую связь с целью выполнения функций и процессов» [11]. Автономность индустриальных агентов означает их способность реагировать на события, возникающие во внешней среде, принятие решений и их исполнение. В основе построения таких производственных систем лежит применение интеллектуальных технологий, связанных с построением динамических многоагентных систем.

Для интеграции участников сетевых предприятий на первое место выходят вопросы создания и использования цифровых платформ и подключаемых интеллектуальных агентов, которые должны обеспечивать реализацию принципов децентрализации управления, вертикальной и горизонтальной интеграции производственных и бизнес-процессов, быстрого реконфигурирования производственных цепочек и повышение надежности функционирования всей производственной системы [3, 4, 12].

Под цифровой платформой (ЦТ) с технологической точки зрения будем понимать набор программных сервисов, объединенных общей программной средой, для реализации различных функций создания и функционирования бизнес-экосистемы и отдельных сетевых предприятий [13].

В работе [14] проводится обобщение опыта использования цифровых платформ на различных промышленных предприятиях Германии и Японии, в результате которого авторы предлагают следующую классификацию:

- ♦ Облачная платформа реализует с помощью облачных сервисов централизованный сбор и обработку данных о работе производственных компаний, которые обрабатываются с целью своевременной диагностики отклонений от планов и долгосрочного прогнозирования работоспособности производственной структуры. Облачные платформы открытого типа функционируют для всей бизнес-экосистемы, а платформы закрытого

типа — только для участников отдельных цифровых или сетевых предприятий.

- ♦ Периферийно-разворачиваемая платформа расширяет облачную платформу вычислительной инфраструктурой, развертываемой локально на удаленных объектах, соответствующих таким производственным активам, как оборудование, производственные линии, цеха и фабрики. В этом отношении сбор и первичная обработка данных осуществляется на удаленных объектах в замкнутом режиме, а обобщенная информация и принятие централизованных решений — возможно в открытой облачной среде.
- ♦ Посредническая платформа (торговая площадка) берет на себя функции организации взаимодействия предприятий друг с другом с точки зрения подбора наилучших по различным критериям партнеров по бизнесу, играет роль, в простейшем случае, торговой площадки. Посреднические платформы как правило имеют открытый характер формирования бизнес-экосистемы.
- ♦ Гибридная платформа позволяет комбинировать функциональные возможности различных типов цифровых платформ для различных типов бизнес-моделей сетевых предприятий.

Выбор типа цифровой платформы тесно связан с выбором типа бизнес-модели производственной системы, которая определяет схему взаимосвязанных материальных, информационных и финансовых потоков под углом зрения общей стратегии цифровой трансформации с учетом технологических и ресурсных ограничений [15]. Как правило, этот выбор является взаимно-однозначным, то есть бизнес-модель определяет требования к цифровой платформе, а цифровая платформа задает ограничения на реализацию бизнес-модели.

В работе [16] дана обобщенная классификация бизнес-моделей для систем Индустрии четвертого поколения, в соответствии с которой выделяются: модель платформы промышленного интернета вещей, модель услуг в цепочке создания стоимости, модель брокерской платформы, модель доверенного доступа к данным. В работе [15] была предложена мнокритериальная модель выбора типа бизнес-модели, учитывающая получение сетевых эффектов, факторы цифровой зрелости компании, коммерческих рисков и рисков информационной безопасности.

В принципе на одном предприятии могут применяться различные типы бизнес-моделей (БМ) в за-

висимости от особенностей типа цепочки создания стоимости и стадии жизненного цикла выпускаемой продукции и/или оказываемых услуг [17]. Следовательно, особенности среды функционирования предприятия определяет требования к построению бизнес-модели, а бизнес-модель может коренным образом трансформировать соответствующие производственные и бизнес-процессы с помощью определенного прикладного сценария цифровизации (применения цифровых технологий) [18]. Таким образом, типы цифровых платформ, типы бизнес-моделей и прикладные сценарии цифровизации оказываются сильно взаимосвязанными, влияющими друг на друга.

Вместе с тем внедрение современных цифровых технологий в практику функционирования промышленных предприятий все еще остается недостаточно исследованной областью, требующей обобщения накапливаемого опыта практического применения производственных технологий и формирования методики обоснования выбора тех или иных прикладных сценариев цифровизации в увязке с выбором типов используемых бизнес-моделей и цифровых платформ.

Рабочей группой Plattform Industrie 4.0 AG2 (R&D Working Group) [19] было проведено обобщение практики применения цифровых платформ в организации производственных и бизнес-процессов и предложены перспективные прикладные сценарии для новых проектов цифровой трансформации предприятий. На базе выделенных прикладных сценариев возможно построение испытательных стендов, на которых возможна отработка различных режимов работы предприятий. Аналогичные работы по формированию типовых сценариев цифровизации были проведены рабочей группой Smart Service Welt [20, 21] и в подходе к созданию испытательных стендов Консорциума промышленного Интернета (Industrial Internet Consortium, IIC) [22], которые позволяют тестировать предлагаемые варианты использования прикладных сценариев, исследовать перспективные сценарии развития технологий, формировать требования к стандартизации.

Сравнение перечисленных подходов показало очень сильное пересечение содержания рассматриваемых аспектов цифровизации по прикладному сценарию, основанному на анализе ценности собираемых данных о работе активов, и сценарию обеспечения прозрачности и адаптивности поставляемых продуктов. Вместе с тем, подход к построению прикладных сценариев в концепции

проекта «Платформа Индустрии 4.0» является более полным с точки зрения реализации процессов по всем основным типам видам производственных и бизнес-процессов на различных этапах жизненного цикла. Поэтому в дальнейшем этот подход положен за основу для исследования прикладных сценариев цифровизации для различных типов бизнес-моделей и цифровых платформ.

Накопление опыта внедрения бизнес-моделей, цифровых платформ и прикладных сценариев цифровизации и его обобщение в виде референсных моделей позволяет организовать систему, основанную на знаниях [23], которая бы давала возможность отбирать по качественным признакам адекватные сценарии и бизнес-модели цифровой трансформации предприятий, при необходимости комбинировать и адаптировать их к условиям функционирования конкретного предприятия и осуществлять расчет прямых сетевых эффектов от применения выбранных сценариев. Причем все задачи решаются на основе построения онтологии цифровой трансформации предприятий, а последняя задача — на основе применения комбинации функционально-стоимостного анализа затрат на выполнение производственных и бизнес-процессов и анализа денежных потоков для оценки рентабельности инвестиций в цифровую трансформацию. В соответствии с представленной постановкой проблемы в статье ставится цель разработать методы и модели обоснования сценария цифровизации производственных и бизнес-процессов предприятий с учетом выбора типа бизнес-модели и цифровой платформы.

1. Методы обоснования сценариев цифровой трансформации производственных и бизнес-процессов предприятий

С архитектурной точки зрения трансформация предприятий на основе цифровых технологий выполняется на нескольких архитектурных уровнях [24, 25]:

- ♦ организации бизнеса — определение заинтересованных сторон, их видения цифровой трансформации, декларируемых ценностей, целей и задач цифровизации предприятия;
- ♦ участия пользователей — определение последовательности действий с участием пользователей, которые обеспечивают необходимую функциональность для достижения возможностей цифровой производственной системы;

- ◆ функциональных требований – выделение функциональных компонентов цифровой производственной системы, определение их структуры и взаимосвязи, интерфейсов между ними и с внешней средой;
- ◆ реализации – использование технологий для реализации функциональных компонентов, их коммуникационных схем и процедур жизненного цикла.

В статье предлагается методы обоснования цифровой производственных и бизнес-процессов предприятия, которые определяет взаимосвязанный выбор прикладного сценария цифровизации, типа бизнес-моделей и типа цифровой платформы и обеспечивает требования к цифровой производственной системе на уровне организации бизнеса

и участия пользователей. Взаимосвязь прикладных сценариев цифровизации, типов бизнес-моделей и типов цифровых платформ представлена в таблице соответствия компонентов цифровой трансформации предприятий (таблица 1), которая построена на основе [14, 16, 19].

Примеры реализации прикладных сценариев цифровизации на основе использования различных типов бизнес-моделей и цифровых платформ на практике отражены в работах [26–31].

Предлагаемая методика обоснования цифровой трансформации предприятий, которая реализуется в рамках создаваемой системы, основанной на знаниях, включает последовательное применение следующих методов:

Таблица 1.

Соответствие компонентов цифровой трансформации предприятий

Процессы цепочки создания стоимости	Прикладной сценарий цифровизации	Тип бизнес-модели	Тип цифровой платформы
Управление жизненным циклом создания продукции	IPD – Сеть создания стоимости «Инновационная разработка продукта (создание замысла и конструирование продукта)	Предоставление доверенного доступа к данным	Облачная платформа
	SP2 – Цепочка создания стоимости «Разработка смарт-продуктов для смарт-производства» (полный цикл разработки интеллектуальных продуктов)	Предоставление доверенного доступа к данным; модель платформы IIoT	Облачная платформа
Управление жизненным циклом производственной системы	SPD – цепочка создания стоимости «Бесшовный и динамический инжиниринг» фабрики, организация и оснащение фабрики (цеха)	Предоставление услуг в цепочке создания стоимости	Периферийно-разворачиваемая платформа
	AF – сеть создания стоимости адаптивной фабрики «Адаптивная фабрика», управление производственными ресурсами в производственном процессе	Предоставление услуг в цепочке создания стоимости	Периферийно-разворачиваемая платформа
Управление цепочками поставок	OSP – сеть создания стоимости «Производство, управляемое заказом», управление распределением общего пула ресурсов между участниками цепочки	Предоставление услуг в цепочке создания стоимости	Посредническая платформа (Торговая площадка) Облачная платформа
	SAL – сеть создания стоимости «Самоорганизующаяся и адаптивная логистика», маршрутизация логистики	Предоставление услуг в цепочке создания стоимости	Посредническая платформа (Торговая площадка) Облачная платформа
Управление сервисным обслуживанием активов	VBS – сеть создания стоимости «Сервис, основанный на ценности»	Модель платформы IIoT	Облачная платформа
	TAP – сеть создания стоимости «Транспарентность и адаптивность поддержки поставляемых продуктов», управление и доверенный доступ к данным о продукте	Предоставление доверенного доступа к данным	Облачная платформа

- ◆ Проведение онтологического инжиниринга и анализа применимости различных прикладных сценариев цифровизации производственных и бизнес-процессов к условиям функционирования конкретного предприятия, в результате которого для различных типов цепочек создания стоимости выбираются прикладные сценарии цифровизации, типы бизнес-моделей и типы цифровых платформ, составляющие конкретные варианты использования.
- ◆ Выполнение экономического анализа применимости отобранных вариантов использования в виде комбинации прикладного сценария, типа бизнес-модели и типа цифровой платформы на основе расчета прямых сетевых эффектов для всех задействованных сторон.

При выполнении этапа онтологического инжиниринга и анализа в онтологии цифровой трансформации предприятий предлагается отразить типы процессов в рамках цепочек создания стоимости и сценариев их цифровизации [19, 22, 32], типы бизнес-моделей [16, 17], типы цифровых платформ [14], факторы необходимости цифровой трансформации производственных и бизнес-процессов и выбора типов бизнес-моделей [15].

При описании прикладных сценариев цифровизации предприятий необходимо определять такие основные разделы, как [19, 22, 32]: заинтересованные стороны в цифровой трансформации (акторы); их роли в процессе трансформации; по каждой роли видение их реализации; ключевые ценности и опыт, которые актер получает в результате реализации сценария; фундаментальные возможности, которые характеризуют особенности проводимых инноваций под углом зрения внедряемых технологий.

В основе построения онтологического представления типа бизнес-модели и типа цифровой платформы лежит фреймворк построения бизнес-модели Санкт-Галлена [14–17, 33], в котором выделяются следующие основные категории:

- ◆ участники производственных и бизнес-процессов (процессов), и их роли;
 - ◆ предложение ценности на выходе процессов, результат процесса (value proposition);
 - ◆ цепочка ценности, определяющая характеристику выполнения ключевых работ и взаимодействия участников процессов (value chain);
 - ◆ механизм извлечения прибыли, определяющий денежные потоки между участниками процессов,
- которые формируют ценность для потребителей процессов, а также возможную экономию затрат на выполнение работ (revenue mechanism).
- Кроме того, для цифровых платформ задаются следующие дополнительные характеристики [14]:
- ◆ особенности заключения бизнес-контрактов;
 - ◆ описание ключевых инноваций бизнес-модели (описание изменений в бизнес-модели, качественные характеристики сетевых эффектов);
 - ◆ особенности информационной безопасности.
- Для проведения онтологического анализа онтология цифровой трансформации предприятий может использоваться в двух режимах:
- ◆ в справочном режиме, когда любая категория онтологии может быть выведена лицу, принимающему решение, для изучения с необходимой детализацией свойств и отношений;
 - ◆ в режиме выбора и обоснования применения тех или иных компонентов цифровой трансформации: прикладных сценариев, типов бизнес-моделей, типов цифровых платформ по отдельности и во взаимосвязи друг с другом под углом зрения различных аспектов и их комбинации при построении цепочек создания стоимости.
- Во втором случае в запросе задаются основные параметры предприятия, такие как тип предприятия, тип производства, характеристика производимого продукта, стадия жизненного цикла, предполагаемые виды трансформируемых производственных и бизнес-процессов. В соответствующих ответах на запросы выдаются рекомендации.
- Для уровня архитектуры цифровой производственной системы, характеризующего реализацию прикладных сценариев цифровизации, онтология цифровой трансформации предприятий расширяется описанием точек зрения на использование сценария с позиции каждого из участников.
- Описание точки зрения охватывает описание вида деятельности, связанного с использованием прикладного сценария, которое в свою очередь включает условие его выполнения, получаемые результаты, ограничения, и описания последовательности выполняемых задач (работ).
- На основе такого детального представления прикладных сценариев становится возможным проведение второго этапа методики обоснования цифровой трансформации предприятия, связанного с экономическим анализом возможности реализации сценария.

Сущность экономического анализа сводится к оценке сетевого эффекта для каждого участника сетевого взаимодействия по выбранному прикладному сценарию цифровизации предприятия. Эффект отдельного участника определяется как разница от получаемых доходов от оказания услуг в цепочке создания стоимости и расходов, связанных с платежами за использование услуг, предоставляемых другими участниками цепочки создания стоимости, и затратами на собственное выполнение работ. Доходы и расходы каждого участника цепочки создания стоимости вычисляются на основе известных статей платежей, фиксируемых в разделе «Механизм извлечения прибыли» онтологического описания типа бизнес-модели (типа цифровой платформы). Затраты на выполнение собственных работ каждым участником цепочки создания стоимости вычисляются методом функционально-стоимостного анализа по набору выполняемых задач для каждого вида деятельности. Точно также могут быть рассчитаны единовременные затраты на создание цифровой платформы и организацию производственных и бизнес-процессов. Подробно метод экономического анализа эффективности реализации прикладного сценария рассматривается в соответствующем разделе на примере двух вариантов использования прикладного сценария, основанного на ценности.

2. Онтологическая модель трансформации цифрового предприятия

Использование онтологии цифровой трансформации предприятий для создания системы, основанной на знаниях, позволяющей формировать бизнес-модели и прикладные сценарии их использования для конкретных цифровых предприятий, обеспечивает решение следующих задач:

- ♦ во-первых, онтология позволяет определить классификацию типовых бизнес-моделей, цифровых платформ и прикладных сценариев, по которой любое цифровое предприятие может сформировать адекватные требования к своей архитектуре;
- ♦ во-вторых, в соответствии с онтологией в консалтинговых компаниях могут накапливаться базы знаний реальных прецедентов использования моделей цифровой трансформации предприятий, которые могут отбираться по аналогии и адаптироваться к условиям функционирования конкретных цифровых предприятий.

Сценарий взаимодействия пользователя и СОЗ представлен на *рис. 1*.



Рис. 1. Взаимодействие пользователя и системы, основанной на знаниях, для обоснования варианта цифровой трансформации предприятия.

Одним из ключевых элементов СОЗ является онтология цифровой трансформации, основанная на принципах построения онтологии проектирования [34] и отражающая методы и модели проектирования компонентов варианта цифровой трансформации (типа бизнес-модели, типа цифровой платформы и прикладного сценария информатизации) сетевого предприятия, ориентированной на реализацию концепции Индустрии четвертого поколения.

Пользователь через интерфейс осуществляет формирование запроса к СОЗ на выбор компонентов варианта цифровой трансформации и получает соответственно из СОЗ ответ.

Поисковый сервис осуществляет отбор компонентов варианта цифровой трансформации, которые соответствуют текущей проблемной ситуации, определенной пользователем СОЗ с помощью онтологии цифровой трансформации.

Система, основанная на знаниях, позволяет эффективно накапливать и систематизировать лучший опыт проектов цифровой трансформации в репозитории, хранящем типовые варианты цифровой трансформации и конкретные применения прикладных сценариев цифровизации.

Модуль поддержки принятия решения реализует качественный и стоимостной анализ отбираемых из репозитория вариантов цифровой трансформации согласно [35].

Рассмотрим онтологическую модель цифровой трансформации сетевого предприятия более детально.

Ключевыми понятиями онтологии цифровой трансформации являются традиционные бизнес-сущности онтологии бизнес-моделирования [36]: Предприятие, Продукт, Тип и Стадия ЖЦ производства продукта, Стратегия, Бизнес-процесс, класс

Бизнес-модели, Роли, их Задачи, Риски, Затраты, Предложения ценности, и место в Цепочке ценности, Механизм получения прибыли в целом. Наряду с этим для целей СОЗ в онтологию интегрируются понятия домена Индустрии четвертого поколения: Цифровая платформа, тип Бизнес-модели, Прикладной сценарий и его виды согласно [19].

Разработанная структура онтологии цифровой трансформации разделена условно в целях наглядности на две части, относящиеся соответственно к выбору типа бизнес-модели (рис. 2) и выбору прикладного сценария цифровизации (рис. 3).

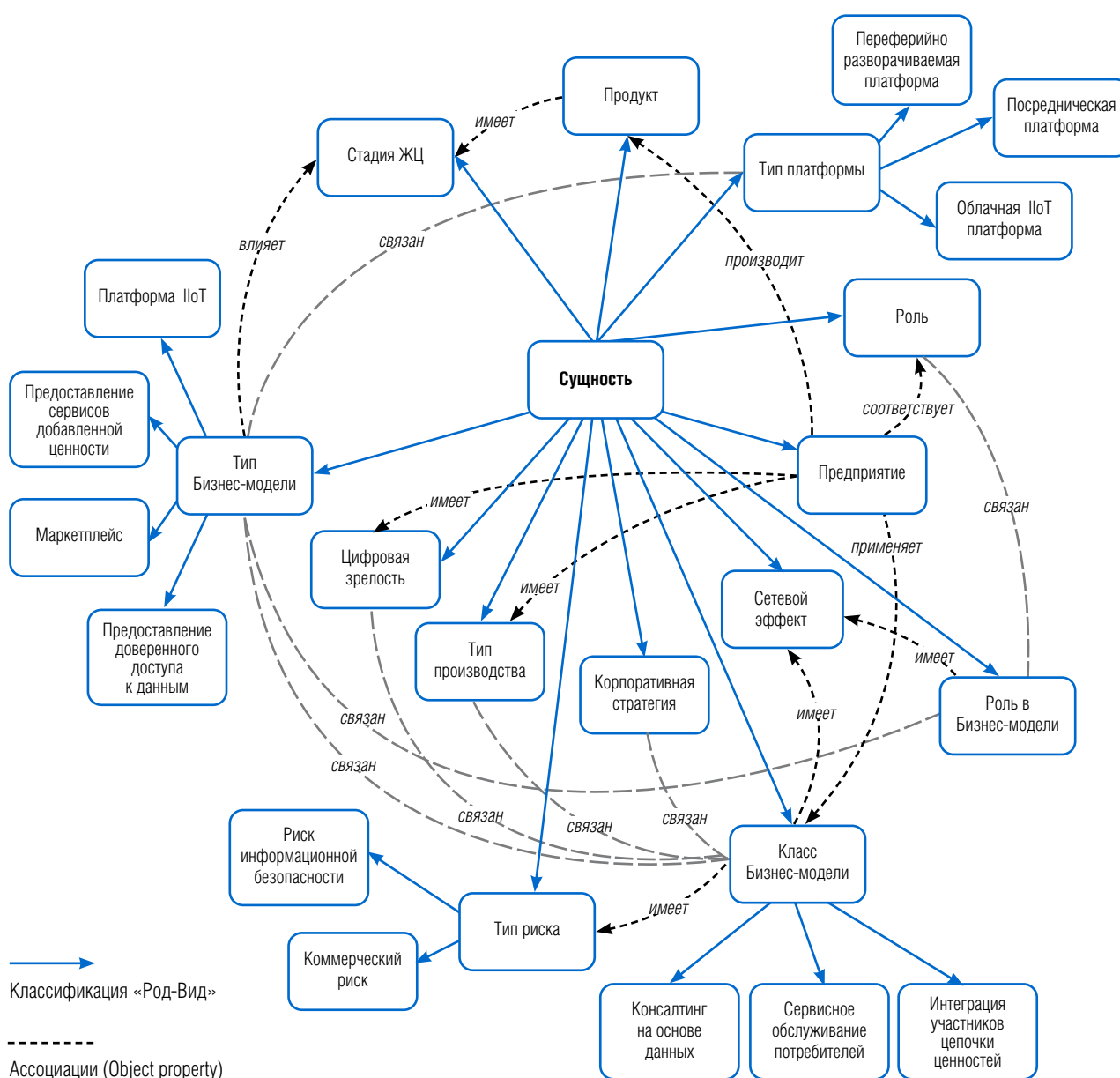


Рис. 2. Онтология цифровой трансформации (часть «Выбор типа бизнес-модели»).

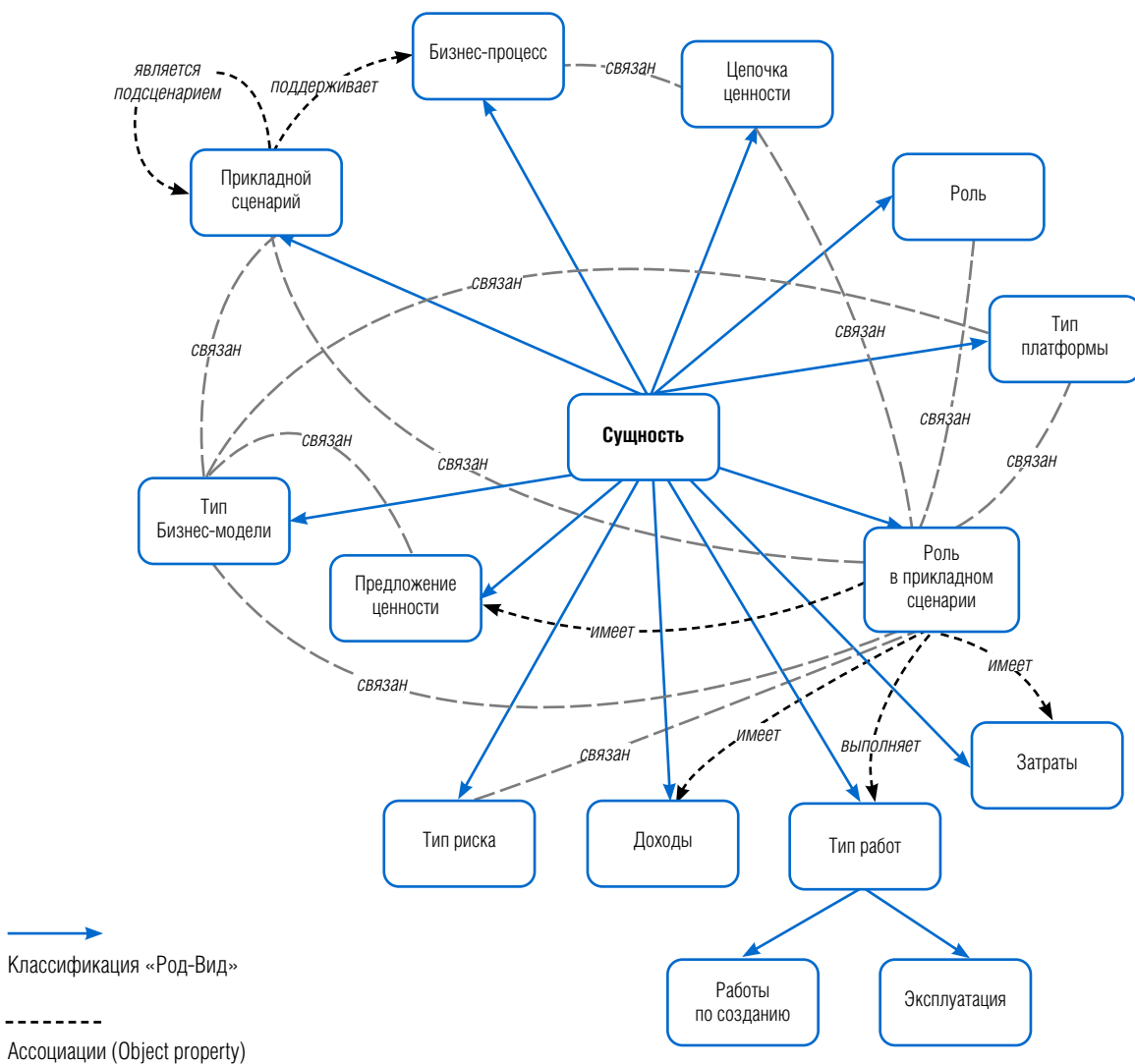


Рис. 3. Онтология цифровой трансформации (часть «Выбор прикладного сценария»).

Для обоснования выбора типа бизнес-модели Индустрии 4.0 (типа цифровой платформы) задаются взаимосвязанные описания, определяющие соответствие характеристик, свойственных организации (корпоративной стратегии, производимой продукции и производственной системы), и характеристик возможной бизнес-модели (необходимого уровня цифровой зрелости, возможных рисков, сетевых эффектов от цифровой трансформации) (рис. 2). Дальнейшие действия пользователя СОЗ позволяют выбрать вариант типа бизнес-модели, отвечающий параметрам конкретной организации [15].

Выбранный тип бизнес-модели характеризует способ организации функционирования сетевого предприятия на основе цифровой платформы, ко-

торый может быть детализирован с использованием прикладных сценариев цифровизации, носящих типовой характер [28, 30] (рис. 3). Отбор прикладных сценариев цифровизации, привязанных к конкретному типу бизнес-модели и включающих описание ролей, структуры доходов и затрат, набора исполняемых задач, осуществляется на основе выполнения типовых запросов к репозиторию СОЗ.

Основной сущностью для описания Прикладного сценария является Роль в прикладном сценарии, описание которой включает ряд характерных атрибутов:

- ♦ выполняемая в рамках конкретного сценария типовая Роль;

- ◆ особенность участия Роли в Цепочке создания ценности;
- ◆ предлагаемая Ролью Ценность;
- ◆ связанный с предложением ценности Доход;
- ◆ инвестиционные и операционные Затраты, которые несет выполняющий соответствующую Роль в прикладном сценарии участник сетевого предприятия (в том числе связанные с получением ценности от другого участника);
- ◆ специфические Работы в области проектирования и эксплуатации платформы, которые связаны с деятельностью соответствующей Роли;
- ◆ коммерческие Риски и риски в области информационной безопасности, с которыми связана деятельность Роли в Прикладном сценарии.

Типовыми запросами являются справочное обращение к описанию прикладных сценариев использования бизнес-моделей из онтологической базы знаний и отбор конкретных прикладных сценариев по различным признакам, интересующих заинтересованных лиц в создании сетевых предприятий.

При дальнейшем развитии СОЗ наряду с типовыми прикладными сценариями в базу знаний могут заноситься новые прикладные сценарии, отражающие лучший опыт предприятия, включающие описание проблемной ситуации и сформированную модель деятельности. При этом создаются понятия и экземпляры понятий, соответствующие описанию деятельности, проблемной ситуации и другим элементам прикладного сценария. После этого устанавливаются отношения между созданным частными и имеющимися типовыми прикладными сценариями. Таким образом, может обеспечиваться регулярное пополнение базы знаний актуальными знаниями о действенных способах цифровой трансформации предприятия и организации цепочек добавленной ценности на основе современных бизнес-моделей и цифровых платформ.

3. Экономическая модель обоснования прикладного сценария цифровизации сетевого предприятия

Обоснование целесообразности применения различных вариантов структурной организации производственных и бизнес-процессов, сформированных на основе типа бизнес-модели, типа цифровой платформы и прикладного сценария цифровизации, требует проведения количественного

экономического анализа, доказывающего возможность и эффективность их реализации. В качестве метода оценки варианта цифровой трансформации сетевого предприятия предлагается использовать метод NPV (net present value, чистая приведенная стоимость), который позволяет увязать вместе все денежные потоки разных временных периодов и определить их суммарную стоимость в настоящий момент времени [37, 38]. Целью применения метода NPV ставится решение об инвестировании головного предприятия и потенциальных участников в организацию сетевого предприятия.

В отличие от традиционного предприятия, которое самостоятельно инвестирует в организацию своих производственных и бизнес-процессов, сетевое предприятие требует минимальных первоначальных инвестиций от всех его участников или вовсе не требует их. Инвестирование проводится от заинтересованных сторон в зависимости от их целей в сети создания ценности и ресурсных возможностей, что снижает для многих участников бизнес-экосистемы барьер входа в него.

В общем случае для организации каких-либо прикладных сценариев цифровизации в сетевом предприятии требуются инвестиции в первую очередь в создание цифровой платформы, программных сервисов и агентов, взаимодействующих на платформе, от оператора платформы, провайдера сервисов и разработчика сервиса соответственно. Применение каких-либо вариантов реализации прикладных сценариев формирует периодический денежный поток для каждого участника цепочки создания стоимости, включающий в себя входящие и исходящие платежи предприятия и его внутренние расходы.

Решение об участии потенциального участника сетевого предприятия принимается на основе расчета суммарного значения NPV по всем его ролям, которое должно быть выше некоторого порогового значения:

$$NPV_i = \sum_{j=1}^{r_i} NPV_{ij}, i = 1, \dots, k, \quad (1)$$

где NPV_i – чистая приведенная стоимость для i -ого участника сетевого предприятия;

NPV_{ij} – чистая приведенная стоимость для j -ой роли i -го участника сетевого предприятия;

r_i – количество ролей i -ого участника сетевого предприятия;

k – количество участников сетевого предприятия.

В качестве основных ролей участников сетевого предприятия можно определить следующие [19]:

- ◆ производственная компания;
- ◆ поставщик оборудования;
- ◆ оператор платформы;
- ◆ провайдер сервисов;
- ◆ системный интегратор;
- ◆ разработчик сервисов;
- ◆ разработчик платформы.

Сетевое предприятие как правило включает в себя головное предприятие чаще всего с ролью «производственная компания», которое становится инициатором проекта. Оно занимается формированием заказов для участников сетевого предприятия с вышперечисленными ролями. Сетевое предприятие, как правило, формируется на основе бизнес-экосистемы, обладающей цифровой платформой.

Значение NPV одного потенциального участника в сетевом предприятии для каждой роли цепочки создания стоимости определяется по формуле:

$$NPV_j = -IC_j + \sum_{t=1}^N \frac{CF_{jt}}{(1-sd)^t}, j=1, \dots, r, \quad (2)$$

где IC_j – первоначальные инвестиции для j -ой роли участника сетевого предприятия;

CF_{jt} – денежный поток t -ого периода (в определенный год) для j -ой роли участника сетевого предприятия;

sd – ставка дисконтирования;

N – количество рассматриваемых периодов существования сетевого предприятия.

Денежный поток рассчитывается для каждого года деятельности сетевого предприятия как разность между доходами от платежей от других организаций и затратами, включающими в себя платежи другим организациям, внутренние расходы и затраты на риски. Для каждого потенциального участника должно быть экономически выгодным вхождение в сетевое предприятие.

Назначение ролей участникам сетевого предприятия осуществляется в соответствии с прикладным сценарием цифровизации, для которого определяется собственный характерный набор ролей цепочки создания стоимости в зависимости от направленности использования, например, на процессы управления продуктом, или на процессы управления производственной системой, или на процессы

управления цепочками поставок, или на процессы обслуживания продукта. В то же время в рамках реализации прикладного сценария предприятие может выполнять несколько ролей или множество предприятий могут участвовать в одной роли.

В дальнейшем формализацию экономической модели обоснования прикладного сценария цифровизации будем рассматривать на примере прикладного сценария «Сервис, основанный на ценности» (Value-Based Service, VBS) [28]. Суть сценария заключается в том, что производственная компания арендует у поставщика оборудования станки, которые могут работать с использованием технологии промышленного интернета вещей и, при необходимости, создаваться под индивидуальные требования. Провайдер программных сервисов предоставляет на платформу программные сервисы, которые эксплуатируются оператором платформы. Оператор платформы с подключенных к цифровой платформе станков производственного предприятия получает данные тремя способами и на основе полученных данных предлагает услуги головному производственному предприятию. Услуги представляют собой анализ получаемых данных с последующим формированием рекомендаций от Оператора платформы или Провайдера программных сервисов. Кроме того, данные могут быть переданы провайдеру программных сервисов для разработки новых или обновления старых программных сервисов. В данном варианте реализации прикладного сценария каждой роли соответствовало одно предприятие (рис. 4).

В другом варианте реализации прикладного сценария VBS головное предприятие организует свою собственную цифровую платформу, что позволяет контролировать доступ к платформенным и программным сервисам. В этом случае головное предприятие отказывается от аутсорсинга по работе с платформой и принимает роль производственного предприятия и оператора платформы на себя.

Решение об аутсорсинге цифровых услуг может обуславливаться следующими факторами:

- ◆ недостаточностью собственных финансовых и/или материальных ресурсов на выполнение определенных бизнес-процессов;
- ◆ недостаточной мотивированностью предприятия, к примеру, некоторые бизнес-процессы не являются приоритетными для предприятия, их выполнение может привести к снижению темпа производительности основных процессов;

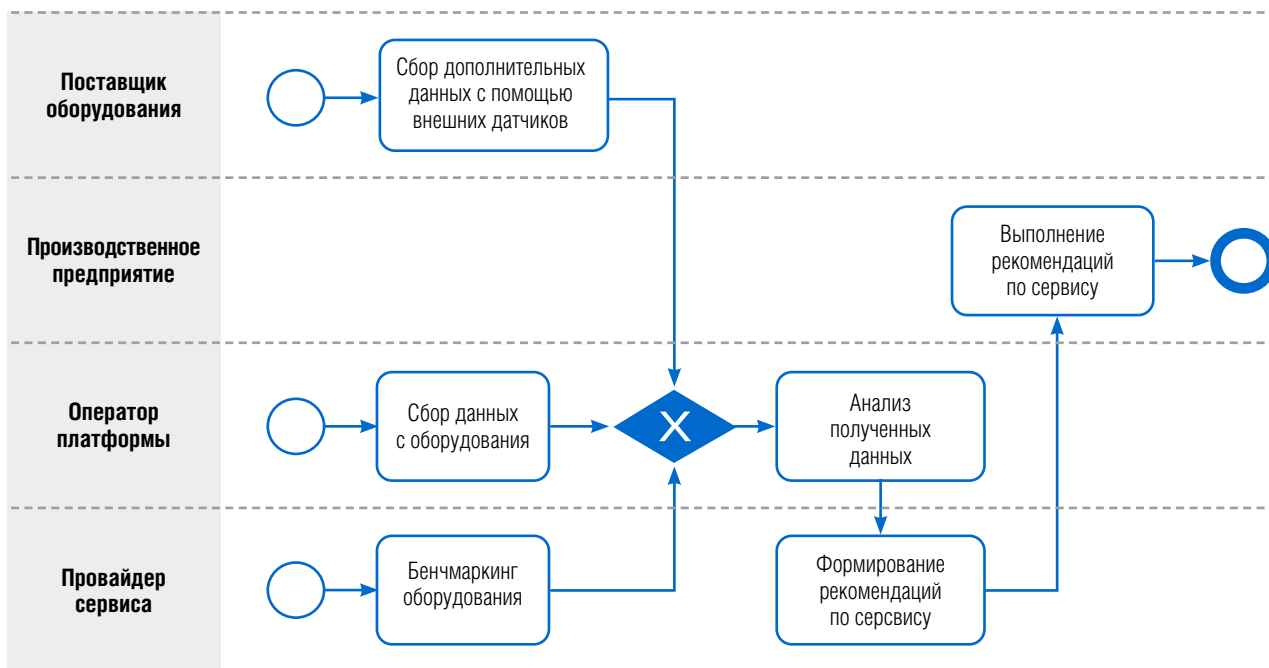


Рис. 4. Процесс выполнения сервиса по сбору и анализу данных о работе оборудования.

- ◆ наличием ограничений, например, связанных с конфиденциальной информацией, утечка которой приведет к потере конкурентоспособности на рынке.

В соответствии с [28] по прикладному сценарию выделяют работы, связанные с организацией платформы и сетевого предприятия, которые требуют первоначальных инвестиций от следующих основных ролей участников сетевого предприятия: Оператор платформы (ОП), Провайдер сервиса (ПС), Поставщик оборудования (ПО), Производственная компания (ПК). Список работ и их распределение по участникам сетевого взаимодействия представлены в таблице 2.

Вычисление значения общих затрат на первоначальные инвестиции (IC_j) по каждой роли прикладного сценария VBS можно представить в виде суммирования всех видов затрат под конкретной ролью:

$$IC_j = \sum_{i=1}^N a_{ij}, i = 1, \dots, k, \quad (3)$$

где a_{ij} — элемент таблицы i -ого вида первоначальных инвестиций и j -ой роли прикладного сценария;

N — количество видов расхода;

k — количество ролей прикладного сценария.

Применение прикладных сценариев цифровизации приводит к изменению цепочки создания стоимости и соответственно новой структуре затрат и доходов у каждого ее участника. Это связано с тем, что происходит распределение рисков деятельности сетевого предприятия, определенных постоянных и

Таблица 2.

Первоначальные инвестиции

Инвестиции в установку и настройку оборудования	Роли			
	ОП	ПС	ПО	ПК
Настройка платформы на сетевое предприятие	IDP			
Разработка сервиса		IDS		
Разработка оборудования (индивидуальные требования)			IDE	
Аренда оборудования				IE
Производство оборудования Продукта			IPE	
Подключение и настройка оборудования	ICN_1		ICN_2	ICN_3

переменных затрат между участниками, а также появление новых статей доходов и расходов, которые зависят от исполняемых ролей участника в цепочке создания стоимости и самого прикладного сценария.

Таким образом измененную структуру затрат и доходов ежегодного денежного потока (CF_i) у каждого участника сетевого предприятия можно определить по формуле:

$$CF_i = DP_i + DN_i - SP_i - VZ_i, i = 1, \dots, k, \quad (4)$$

где k – количество предприятий, участвующих в рамках прикладного сценария цифровизации;

DP_i – доход от получения платы за услуги i -ого предприятия;

SP_i – собственные платежи за оказанные услуги i -ого предприятия.

DN_i – косвенный сетевой эффект i -ого предприятия; VZ_i – внутренние затраты i -ого предприятия, которые вычисляются на основе применения метода функционально-стоимостного анализа [39–41].

Для производственной компании косвенный эффект – это сокращение издержек на ремонт и обслуживание оборудования. Для провайдера программных сервисов – это создание новых сервисов на основе данных от оборудования производственного предприятия, что приведет к увеличению лицензий. Для оператора платформы – это сокращение издержек на эксплуатацию и поддержку платформы в связи с увеличением числа участников платформы за счет усиления привлекательности платформы для участников сетевого предприятия за счет новых программных сервисов и сервисов платформы. Для поставщика оборудования – это сокращение издержек за счет снижения времени простоя оборудования, так как увеличение количества производственных предприятий даст высокую вероятность, что оборудование будет арендовано.

Помимо издержек, перечисленных в *таблице 3*, внутренние затраты кроме всякого рода издержек включают в себя плату за мероприятия по предотвращению рисков. В данные платы могут входить затраты на анализ и прогнозирование рисков, затраты на ликвидацию последствий непредвиденных рисков и затраты страхования от выбранных рисков.

Для производственной компании в сетевом предприятии можно определить следующие риски, связанные со сбоями в работе:

Таблица 3.

Денежный поток для одного года

Вид расхода (Статьи доходов/расходов)	Роли			
	ОП	ПС	ПО	ПК
Плата за сервис	S			$-S$
Плата за сервисы платформы от провайдера сервиса	SP	$-SP$		
Плата за сервисы платформы от поставщика оборудования	SE	$-SE$		
Плата за подключение оборудования	$-CN$		CN	
Плата за настройку оборудования	$-F$		F	
Оплата лицензии за использование приложения оператором оборудования	$-L$	L		
Издержки на содержание платформы	$-PL$			
Издержки на разработку приложения для сервиса		$-DA$		
Издержки на разработку сервиса		$-DS$		
Плата за аренду оборудования			AE	$-AE$
Плата за мероприятия по предотвращению рисков	$-R_1$	$-R_2$	$-R_3$	$-R_4$
Косвенный сетевой эффект	DN_1	DN_2	DN_3	DN_4

- ◆ оборудование;
- ◆ платформа, в том числе ограничение доступа к ней;
- ◆ программные сервисы, в том числе ограничение доступа к ним, а также сбои в поставке оборудования под индивидуальный заказ;
- ◆ неверно выполненные индивидуальные заказы на оборудование;
- ◆ отсутствие потребности в продукте у клиентов.

Для провайдера программных сервисов в сетевом предприятии можно определить следующие риски:

- ◆ потеря возможности поставлять программные сервисы на платформу;
- ◆ отказ оператора платформы от программного сервиса в связи с невостребованностью или созданием аналогичного и конкурентоспособного программного сервиса;
- ◆ невозможность интеграции оборудования под индивидуальный заказ и программного сервиса; выявление критических ошибок в программном сервисе;
- ◆ утечка конфиденциальных данных о процессах и пользователях программного сервиса.

Для оператора платформы в сетевом предприятии можно определить следующие риски:

- ◆ отказ от работы на платформе головного предприятия;
- ◆ невозможность работы платформы в связи отсутствием финансовых ресурсов или технологических проблем;
- ◆ потеря репутации из-за некачественных программных сервисов;
- ◆ утечка конфиденциальных данных о процессах и пользователях платформенных сервисов.

Для поставщика оборудования в сетевом предприятии можно определить следующие риски:

- ◆ отказ от индивидуальной разработки оборудования;
- ◆ невозможность интеграции оборудования под индивидуальный заказ и программного сервиса;
- ◆ отказ производственной компании от аренды оборудования в связи с невостребованностью или созданием аналогичного и конкурентоспособного типового оборудования.

В *таблице 3* знак минус означает платеж за услугу или внутренние издержки, отсутствие знака — поступление платежа. Вычисление значения денежного потока (CF_j) по каждой роли прикладного сценария VBS можно представить в виде суммирования всех видов расходов под конкретной ролью:

$$CF_j = \sum_{i=1}^N a_{ij}, i = 1, \dots, k, \quad (5)$$

где a_{ij} — элемент таблицы i -ого вида расхода и j -ой роли прикладного сценария цифровизации;

N — количество видов расхода;

k — количество ролей прикладного сценария.

В условиях того, что предприятие может исполнять несколько ролей при организации сетевого предприятия, количество видов входящих и исходящих платежей меняется. В зависимости от того, какие роли на себя берут предприятия в рамках прикладного сценария цифровизации, меняется структура учета рисков, а также основные виды издержек деятельности в сетевом предприятии, когда платежи заменяются на внутренние издержки.

Предложенная экономическая модель обоснования сценариев построения производственных и бизнес-процессов сетевого предприятия на основе методов чистой приведенной стоимости (NPV) и функционально-стоимостного анализа позволяет оценить привлекательность сетевого предприятия для всех его потенциальных участников. Благодаря экономическому анализу принятие решения о применении прикладного сценария цифровизации для создания сетевого предприятия становится экономически обоснованным, в связи с предоставлением информации о возможных доходах, затратах, рисках и других факторах, связанных с цепочкой создания стоимости. Анализ позволяет оценить для каждого предприятия и ему соответствующих ролей потенциальную прибыль, сформированную на основе платежей, получения прямых и косвенных сетевых эффектов и экономии внутренних затрат, сравнить их с первоначальными затратами, а также определить наилучший вариант реализации прикладного сценария цифровизации.

Заключение

Анализ опыта внедрения бизнес-моделей, цифровых платформ и прикладных сценариев цифровизации на предприятиях показывает необходимость разработки онтологических и экономических методов формирования и обоснования организации производственных и бизнес-процессов в зависимости от типа и потенциала участников сетевых предприятий. Причем онтологическая модель цифровой трансформации должна служить основанием формирования вариантов прикладных сценариев цифровизации для последующего их экономического обоснования.

Предложенный метод онтологического инжиниринга и анализа применимости различных прикладных сценариев цифровизации производственных и бизнес-процессов к условиям функционирования конкретного предприятия предполагает отображение в онтологии классификации типов

бизнес-моделей, цифровых платформ и собственно прикладных сценариев во взаимосвязи для различных типов цепочек создания стоимости.

В статье определены основные типы запросов для обоснования прикладных сценариев цифровизации предприятий, которые позволяют отбирать типовые сценарии цифровизации по отдельным или комбинациям признаков, характеризующих формирование ценностных предложений, получение конкурентных преимуществ, обеспечение положительных денежных потоков в зависимости от исполняемых ролей участников сетевых предприятий. Компьютерная реализация онтологии в формате OWL позволяет также осуществлять справочные запросы по реализации отдельных типов прикладных сценариев.

В перспективе разработанная онтология цифровой трансформации предприятий может служить основой для накопления онтологической базы данных прецедентов внедрения прикладных сценариев, бизнес-моделей и цифровых платформ для поиска наилучшей практики цифровой трансформации и ее адаптации к конкретным условиям.

В основе экономического анализа сетевых эффектов от применения того или иного варианта построения прикладного сценария цифровизации предприятий в статье предлагается применение метода чистой приведенной стоимости NPV, в котором определяются инвестиции по типовым работам подготовки цифровой платформы к эксплуатации, а также текущие доходы и затраты в виде взаимных платежей участников сетевых предприятий с учетом себестоимости выполнения внутренних работ. С этой точки зрения в статье определен

состав статей доходов и затрат для распространенного прикладного сценария получения ценности от анализа цифровых данных. Сравнение суммарного сетевого эффекта по различным вариантам ролевого участия заинтересованных сторон сетевого предприятия позволяет выбрать наилучшую реализацию прикладного сценария. В перспективе предлагается расширение метода экономического анализа вариантов построения прикладных сценариев формализацией моделей получения косвенных сетевых эффектов за счет расширения числа участников бизнес-экосистемы.

Новизна предложенных методов и моделей обоснования вариантов цифровой трансформации производственных и бизнес-процессов предприятий заключается в постановке и решении задачи взаимосвязанного выбора типа бизнес-модели, типа цифровой платформы и прикладного сценария в зависимости от характера предприятия. При этом онтологическая модель цифровой трансформации служит основой для формирования прикладных сценариев цифровизации предприятий, выбор которых уточняется в результате применения модели расчета экономической эффективности по методам NPV и функционально-стоимостного анализа. ■

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-00282, <https://rscf.ru/project/22-11-00282/>.

Литература

1. Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях инновационной экономики / [Под научн. ред. М.Я. Веселовского и Н.С. Хорошавиной]. М.: Мир науки, 2021. [Электронный ресурс]: <https://izd-mn.com/PDF/06MNNPM21.pdf> (дата обращения 30.10.2023).
2. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л. Разработка цифровых двойников для производственных предприятий // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 4. С. 7–16. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.4.7.16>
3. Salazar L.A.C., Ryashentseva D., Lüder A., Vogel-Heuser B. Cyber-physical production systems architecture based on multi-agent's design pattern – comparison of selected approaches mapping four agent patterns // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. Vol. 105. P. 4005–4034. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03800-4>
4. Salazar L.A.C., Vogel-Heuser B. A CPPS-architecture and workflow for bringing agent-based technologies as a form of artificial intelligence into practice // Automatisierungstechnik. 2022. Vol. 70. No. 6. P. 580–598.
5. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Экспертно-аналитический доклад // Инфраструктурный центр «Технет» НТИ. Москва, 2019. [Электронный ресурс]: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/12_december/28/cifrovoy_dvoynik.pdf (дата обращения: 30.10.2023).
6. Минаев В.А., Мазин А.В., Здирук К.Б., Куликов Л.С. Цифровые двойники объектов в решении задач управления // Радиопромышленность. 2019. Т. 29. № 3. С. 68–78. <https://doi.org/10.21778/2413-9599-2019-29-3-68-78>
7. Абрамов В.И., Бобоев Д.С., Гильманов Т.Д., Семенков К.Ю. Теоретические и практические аспекты создания цифрового двойника компании // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 2. С. 967–980. <https://doi.org/10.18334/vinec.12.2.114890>

8. Akopov A.S. Designing of integrated system-dynamics models for an oil company // *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2012. Vol. 45. No. 4. P. 220–230. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2012.051122>
9. Akopov A.S. Parallel genetic algorithm with fading selection // *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2014. Vol. 49. No. 3/4. P. 325–331. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2014.062368>
10. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С. Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик // *Бизнес-информатика*. 2021. Т. 15. № 2. С. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
11. Kovalenko I., Tilbury D., Barton K. The model-based product agent: A control oriented architecture for intelligent products in multi-agent manufacturing systems // *Control Engineering Practice*. 2019. Vol. 86. P. 105–117.
12. Komesker S., Motsch W., Popper J., Sidorenko S., Wagner A., Ruskowski M. Enabling a multi-agent system for resilient production flow in modular production systems // *Proceedings of the 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Procedia CIRP*. 2022. Vol. 107. P. 991–998.
13. Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А., Данилов А.В., Денисов А.А. Требования к программной реализации системы Индустрии 4.0 для создания сетевых предприятий // *Программные продукты и системы*. 2022. Т. 35. № 4. С. 557–571. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.140.557-571>
14. Digital Platforms in Manufacturing Industries. Result Paper // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2021. [Электронный ресурс]: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/digital-platforms-in-manufacturing-2021.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).
15. Тельнов Ю.Ф., Брызгалов А.А., Козырев П.А., Королева Д.С. Выбор типа бизнес-модели для реализации стратегии цифровой трансформации сетевого предприятия // *Бизнес-информатика*. 2022. Т. 16. № 4. С. 50–67. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.4.50.67>
16. Digital business models for Industrie 4.0. Result paper // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/digital-business-models-industry-4-0.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).
17. Weking J., Stocker M., Kowalkiewicz M., Bohm M., Krcmar H. Archetypes for industry 4.0 business model innovations // *Proceedings of the 24th Americas Conference on Information Systems (AMCIS)*. Association for Information Systems (AIS) (eds. A. Bush, V. Grover, S. Schiller). 2018.
18. Тельнов Ю.Ф., Брызгалов А.А., Королева Д.С. Организация производственных и бизнес-процессов в цепочках создания стоимости на основе прикладных сценариев цифровизации предприятий // *Открытое образование*. 2023. Т. 27. № 3. С. 43–54.
19. Aspects of the research roadmap in application scenarios. Working paper // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2016. [Электронный ресурс]: <http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/aspects-of-the-research-roadmap.html> (дата обращения: 30.10.2023).
20. Smart service WELT. Digitale Serviceplattformen – Praxiserfahrungen aus der Industrie. Best Practices // *acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften*. 2016. [Электронный ресурс]: https://innosabi.com/wp-content/uploads/2016/05/BerichtSmartService2016_DE_barrierefrei.pdf (дата обращения: 30.10.2023).
21. Lu Y., Xu X., Wang L. Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios // *Journal of Manufacturing Systems*. 2020. Vol. 56. P. 312–325.
22. Proposal for a joint “scenario” of Plattform Industrie 4.0 and IIC. Discussion paper // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2016. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33286.98881>
23. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов: компонентная методология // *Финансы и статистика*, 2005.
24. Usage view of asset administration shell. Discussion Paper // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/2019-usage-view-asset-administration-shell.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).
25. The Industrial Internet Reference Architecture // Industry IoT Consortium. 2022. [Электронный ресурс]: <https://www.iiconsortium.org/wp-content/uploads/sites/2/2022/11/IIRA-v1.10.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).
26. Seitz M., Gehlhoff F., Salazar L.A.C., Fay A., Vogel-Heuser B. Automation platform independent multi-agent system for robust networks of production resources in industry 4.0 // *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2021. Vol. 32. P. 2023–2041. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01759-2>
27. Savastano M., Amendola C., D’Ascenzo F. How digital transformation is reshaping the manufacturing industry value chain: The new digital manufacturing ecosystem applied to a case study from the food industry // *Network, Smart and Open. Lecture Notes in Information Systems and Organisation*. Vol. 24. P. 127–142. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62636-9_9
28. Usage viewpoint of application scenario value-based service. Discussion Paper // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2018. [Электронный ресурс]: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/hm-2018-usage-viewpoint.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).
29. Usage view «Seamless and dynamic engineering of plants». Discussion Paper // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2020. [Электронный ресурс]: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/usage-view-seamless-and-dynamic-engineering-of-plants.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).

30. Benefits of application scenario value-based service. Working Paper // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/benefits-application-scenario.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).
31. Exemplification of the Industrie 4.0 application scenario value-based service following IIRA structure. Working Paper // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/exemplification-i40-value-based-service.pdf> (дата обращения: 30.10.2023).
32. Guidance “Use cases and applications” // Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). 2019. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/333719195_Guidance_Use_Cases_and_Applications (дата обращения: 30.10.2023).
33. Gassmann O., Csik M., Frankenberger K. The business model navigator: 55 Models that will revolutionise your business. Pearson Education Limited, 2014.
34. Боргест Н.М. Онтология проектирования: генезис и развитие // Двадцать первая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2023 (16–20 октября 2023 г.). Труды конференции / Российская ассоциация искусственного интеллекта, 2023. С. 6–13.
35. Брызгалов А.А., Тельнов Ю.Ф. Экономическая модель построения архитектуры сетевого предприятия // Статистика и экономика. 2022. Т. 19. № 6. С. 53–62. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2022-6-53-62>
36. Osterwalder A., Pigneur Y., Tucci C. Clarifying business models: Origins, present, and future of the concept // Communications of the Association for Information Systems. 2010. Vol 16. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.01601>
37. Марголин А.М., Марголина Е.В., Спицына Т.А. Экономическая оценка инвестиционных проектов. М.: Экономика, 2018.
38. Воротникова Д.В. Сравнительный анализ метода реальных опционов и традиционных методов оценки эффективности инвестиционных проектов // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 2–1. С. 24–27. <https://doi.org/10.17513/vaael.2053>
39. Drury C. Management and cost accounting. Cengage, 2007.
40. Yang C.H., Lee K.C., Li S.E. A mixed activity-based costing and resource constraint optimal decision model for IoT-oriented intelligent building management system portfolios // Sustainable Cities and Society. 2020. Vol. 60. Article 102142. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102142>
41. Gholami H., Jiran N.S., Saman M.Z.M. [et al.] Application of activity-based costing in estimating the costs of manufacturing process // Transformations in Business and Economics. 2019. Vol. 18. No. 2. P. 839–860.

Об авторах

Тельнов Юрий Филиппович

доктор экономических наук, профессор;

заведующий кафедрой прикладной информатики и информационной безопасности, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36;

E-mail: Telnov.YUF@rea.ru

ORCID: 0000-0002-2983-8232

Казаков Василий Александрович

кандидат экономических наук;

доцент, кафедра прикладной информатики и информационной безопасности, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36;

E-mail: Kazakov.VA@rea.ru

ORCID: 0000-0001-8939-2087

Брызгалов Алексей Алексеевич

ассистент, кафедра прикладной информатики и информационной безопасности, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36;

E-mail: Bryzgalov.AA@rea.ru

ORCID: 0000-0002-5001-4326

Федоров Игорь Григорьевич

доктор экономических наук;

профессор, кафедра прикладной информатики и информационной безопасности, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, 117997, г. Москва, Стремянный пер., д. 36;

E-mail: Fedorov.IG@rea.ru

ORCID: 0000-0003-2335-0452

Methods and models for substantiating application scenarios for the digitalization of manufacturing and business processes of network enterprises

Yury F. Telnov

E-mail: telnov.yuf@rea.ru

Vasiliy A. Kazakov

E-mail: kazakov.va@rea.ru

Aleksey A. Bryzgalov

E-mail: bryzgalov.aa@rea.ru

Igor G. Fiodorov

E-mail: fedorov.ig@rea.ru

Plekhanov Russian University of Economics

Address: 36, Stremyanny Lane, Moscow 117997, Russia

Abstract

The process of digital transformation of enterprises is associated with the organization of manufacturing and business processes within the framework of selected types of business models and digital platforms, the distribution and economic substantiation of the roles of participants in network interactions, and ensuring the semantic interoperability of their interaction. Currently, certain experience has been accumulated in the implementation of modern business models for the digital transformation of enterprises which is reflected in the concepts of the Industrie 4.0, the Industrial Internet of Things, the creation of cyber-physical production systems, smart enterprises and intelligent manufacturing. At the same time, the issues of conceptual modeling of the architecture of digital enterprises, which determines the construction of manufacturing and business processes, and its economic substantiation depending on various factors of the external environment and internal economic potential have not yet been sufficiently researched and developed. All of the foregoing determines the relevance of the work presented here. The purpose of the study was to develop ontological and economic methods for substantiating application scenarios for the digitalization of manufacturing and business processes depending on the selected types of business models and digital platforms. To solve the problem, methods of classification, ontological engineering, activity-based costing and analysis of cash flows of income and expenses are used. The article presents an analysis of enterprise digitalization scenarios depending on the types of manufacturing and business processes, the types of business models and digital platforms used. An ontological model of enterprise digital transformation has been constructed, providing a choice of application scenarios for the digitalization of manufacturing and business processes for various types of business models and digital platforms. An economic model is proposed to justify options for constructing application scenarios for the digitalization of production and business processes depending on the distribution of roles of participants in network interaction using methods of activity-based costing and cash flow analysis.

Keywords: network enterprise, application scenario of digitalization, type of business model, type of digital platform, manufacturing and business processes, ontological model, economic model

Citation: Telnov Yu.F., Kazakov V.A., Bryzgalov A.A., Fiodorov I.G. (2023) Methods and models for substantiating application scenarios for the digitalization of manufacturing and business processes of network enterprises. *Business Informatics*, vol. 17, no. 4, pp. 73–93. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.4.73.93

References

1. Veselovsky M.Ya., Khoroshavina N.S. (eds.) (2021) *Digital transformation of industrial enterprises in an innovative economy*. Moscow: Mir Nauki. Available at: <https://izd-mn.com/PDF/06MNNPM21.pdf> (accessed 30 October 2023) (in Russian).
2. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L. (2019) Developing digital twins for production enterprises. *Business Informatics*, vol. 13, no. 4, pp. 7–16. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.4.7.16>
3. Salazar L.A.C., Ryashentseva D., Lüder A., Vogel-Heuser B. (2019) Cyber-physical production systems architecture based on multi-agent's design pattern – comparison of selected approaches mapping four agent patterns. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 105, pp. 4005–4034. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03800-4>
4. Salazar L.A.C., Vogel-Heuser B. (2022) A CPPS-architecture and workflow for bringing agent-based technologies as a form of artificial intelligence into practice. *Automatisierungstechnik*, vol. 70, no. 6, pp. 580–598.
5. Technet (2019) *Digital twins in the high-tech industry*. Available at: http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2019/12_december/28/cifrovoy_dvoynik.pdf (accessed 30 October 2023) (in Russian).
6. Minaev V.A., Mazin A.V., Zdiruk K.B., Kulikov L.S. (2019) Digital twins of objects in the solution of control problems. *Radio Industry (Russia)*, vol. 29, no. 3, pp. 68–78 (in Russian). <https://doi.org/10.21778/2413-9599-2019-29-3-68-78>
7. Abramov V.I., Boboev D.S., Gilmanov T.D., Semenov K.Yu. (2022) Theoretical and practical aspects of creating a company's digital twin. *Russian Journal of Innovation Economics*, vol. 12, no. 2, pp. 967–980 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/vinec.12.2.114890>
8. Akopov A.S. (2012) Designing of integrated system-dynamics models for an oil company. *International Journal of Computer Applications in Technology*, vol. 45, no. 4, pp. 220–230. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2012.051122>
9. Akopov A.S. (2014) Parallel genetic algorithm with fading selection. *International Journal of Computer Applications in Technology*, vol. 49, no. 3/4, pp. 325–331. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2014.062368>
10. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S. (2021) Digital plant: methods of discrete-event modeling and optimization of production characteristics. *Business Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 7–20. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2021.2.7.20>
11. Kovalenko I., Tilbury D., Barton K. (2019) The model-based product agent: A control oriented architecture for intelligent products in multi-agent manufacturing systems. *Control Engineering Practice*, vol. 86, pp. 105–117.
12. Komesker S., Motsch W., Popper J., Sidorenko S., Wagner A., Ruskowski M. (2022) Enabling a multi-agent system for resilient production flow in modular production systems. Proceedings of the 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems, *Procedia CIRP*, vol. 107, pp. 991–998.
13. Telnov Yu.F., Kazakov V.A., Danilov A.V., Denisov A.A. (2022) Requirements for the software implementation of the Industrie 4.0 system for creating network enterprises. *Software and Systems*, vol. 35, no. 4, pp. 557–571 (in Russian). <https://doi.org/10.15827/0236-235X.140.557-571>
14. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2021) *Digital platforms in manufacturing industries. Result Paper*. Available at: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/digital-platforms-in-manufacturing-2021.pdf> (accessed 30 October 2023).
15. Telnov Yu.F., Bryzgalov A.A., Kozyrev P.A., Koroleva D.S. (2022) Choosing the type of business model to implement the digital transformation strategy of a network enterprise. *Business Informatics*, vol. 16, no. 4, pp. 50–67. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.4.50.67>
16. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2019) *Digital business models for Industrie 4.0. Result Paper*. Available at: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/digital-business-models-industry-4-0.pdf> (accessed 30 October 2023).
17. Weking J., Stocker M., Kowalkiewicz M., Bohm M., Krcmar H. (2018) Archetypes for Industry 4.0 business model innovations. Proceedings of the 24th Americas Conference on Information Systems (AMCIS). *Association for Information Systems (AIS)* (eds. A. Bush, V. Grover, S. Schiller).
18. Telnov Yu.F., Bryzgalov A.A., Koroleva D.S. (2023) Organization of production and business processes in value chains based on applied scenarios for the digitalization of enterprises. *Open Education*, vol. 27, no. 3, pp. 43–54 (in Russian).
19. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2016) *Aspects of the research roadmap in application scenarios. Working paper*. Available at: <http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/aspects-of-the-research-roadmap.html> (accessed 30 October 2023).

20. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2016) *Smart service WELT. Digitale Serviceplattformen – Praxiserfahrungen aus der Industrie. Best Practices*. Available at: https://innosabi.com/wp-content/uploads/2016/05/BerichtSmartService2016_DE_barrierefrei.pdf (accessed 30 October 2023).
21. Lu Y., Xu X., Wang L. (2020) Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 56, pp. 312–325.
22. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2016) *Proposal for a joint “scenario” of Plattform Industrie 4.0 and IIC. Discussion paper*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33286.98881>
23. Telnov Yu.F. (2005) *Reengineering of business-processes. Component-based methodology*. Moscow: Finance and Statistics (in Russian).
24. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2019) *Usage view of asset administration shell. Discussion Paper*. Available at: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/2019-usage-view-asset-administration-shell.pdf> (accessed 30 October 2023).
25. Industry IoT Consortium (2022) *The industrial internet reference architecture*. Available at: <https://www.iiconsortium.org/wp-content/uploads/sites/2/2022/11/IIRA-v1.10.pdf> (accessed 30 October 2023).
26. Seitz M., Gehlhoff F., Salazar L.A.C., Fay A., Vogel-Heuser B. (2021) Automation platform independent multi-agent system for robust networks of production resources in Industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 32, pp. 2023–2041. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01759-2>
27. Savastano M., Amendola C., D’Ascenzo F. (2018) How digital transformation is reshaping the manufacturing industry value chain: The new digital manufacturing ecosystem applied to a case study from the food industry. *Network, Smart and Open. Lecture Notes in Information Systems and Organisation*, vol. 24, pp. 127–142. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62636-9_9
28. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2018) *Usage viewpoint of application scenario value-based service. Discussion Paper*. Available at: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/hm-2018-usage-viewpoint.pdf> (accessed 30 October 2023).
29. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2020) *Usage view “Seamless and dynamic engineering of plants.” Discussion Paper*. Available at: <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/usage-view-seamless-and-dynamic-engineering-of-plants.pdf> (accessed 30 October 2023).
30. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2017) *Benefits of application scenario value-based service. Working paper*. Available at: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/benefits-application-scenario.html> (accessed 30 October 2023).
31. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2017) *Exemplification of the Industrie 4.0 application scenario value-based service following IIRA structure. Working Paper*. Available at: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/exemplification-i40-value-based-service.html> (accessed 30 October 2023).
32. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (2019) *Guidance “Use cases and applications.”* Available at: https://www.researchgate.net/publication/333719195_Guidance_Use_Cases_and_Applications (accessed 30 October 2023).
33. Gassmann O., Csik M., Frankenberger K. (2014) *The business model navigator: 55 Models that will revolutionise your business*. Pearson Education Limited.
34. Borgest N.M. (2023) Design ontology: Genesis and development. Proceedings of the *Twenty-first National Conference on Artificial Intelligence with international participation KII-2023 (October 16–20, 2023)*, pp. 6–13.
35. Bryzgalov A.A., Telnov Yu.F. (2022) An economic model for creating a network enterprise architecture. *Statistics and Economics*, vol. 19, no. 6, pp. 53–62 (in Russian). <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2022-6-53-62>
36. Osterwalder A., Pigneur Y., Tucci C. (2010) Clarifying business models: Origins, present, and future of the concept. *Communications of the Association for Information Systems*, vol. 16. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.01601>
37. Margolin A.M. (2018) *Economic assessment of investment projects*. Moscow: Economics (in Russian).
38. Vorotnikova D.V. (2022) Comparative analysis of the real options method and traditional methods for assessing the effectiveness of investment projects. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, no. 2–1, pp. 24–27 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/vaael.2053>
39. Drury C. (2007) *Management and cost accounting*. Cengage.
40. Yang C.H., Lee K.C., Li S.E. (2020) A mixed activity-based costing and resource constraint optimal decision model for IoT-oriented intelligent building management system portfolios. *Sustainable Cities and Society*, vol. 60, article 102142. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102142>
41. Gholami H., Jiran N.S., Saman M.Z.M., et al. (2019) Application of activity-based costing in estimating the costs of manufacturing process. *Transformations in Business and Economics*, vol. 18, no. 2, pp. 839–860.

About the authors

Yury F. Telnov

Dr. Sci. (Econ.), Professor;

Head of the Department of Applied Informatics and Information Security, Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny Lane, Moscow 117997, Russia;

E-mail: telnov.yuf@rea.ru

ORCID: 0000-0002-2983-8232

Vasily A. Kazakov

Cand. Sci. (Econ.);

Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Security, Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny Lane, Moscow 117997, Russia;

E-mail: kazakov.va@rea.ru

ORCID: 0000-0001-8939-2087

Aleksey A. Bryzgalov

Assistant Professor, Department of Applied Informatics and Information Security, Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny Lane, Moscow 117997, Russia;

E-mail: bryzgalov.aa@rea.ru

ORCID: 0000-0002-5001-4326

Igor G. Fiodorov

Dr. Sci. (Econ.);

Professor, Department of Applied Informatics and Information Security, Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny Lane, Moscow 117997, Russia;

E-mail: fedorov.ig@rea.ru

ORCID: 0000-0003-2335-0452