

Технологии системного инжиниринга в управлении цифровыми экосистемами

Systems engineering technologies in digital ecosystem management



И. А. Брусакова,
д. т. н., профессор, зав. кафедрой
✉ iabrusakova@etu.ru

I. A. Brusakova,
doctor of technical sciences, professor,
head of department



А. Р. Денисов,
д. т. н., доцент, профессор
✉ ardenisov@etu.ru

A. R. Denisov,
doctor of technical sciences,
docent, professor

Кафедра инновационного менеджмента, СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Information management department, SPb state electrotechnical university «LETI»

Современным трендом развития методических и научно-практических основ системного инжиниринга является использование теории системы систем (SoS) для управления цифровыми экосистемами. Идеи теории системы систем позволяют формировать компоненты и взаимосвязи между ними для экосистем различной сложности. Помимо этого, экосистемный подход позволяет рассматривать архитектурные особенности бизнес-моделей экономических объектов и ИТ-архитектурные особенности программных систем как взаимосвязанной совокупности компонентов метамодели SoS. Обеспечение интероперабельности и гомеостаза системы систем — необходимые свойства цифровых экосистем. Одной из задач управления многокомпонентной мультисервисной средой ИТ-архитектуры цифровой экосистемы являются задачи формирования стеков технологий и инструментальных средств. В статье представлены политики системного инжиниринга для проектирования архитектуры цифровой экосистемы и ее ИТ-архитектуры с точки зрения организации жизненного цикла проектирования системы.

The modern trend in the development of methodological and scientific and practical foundations of system engineering is the use of system system theory (SoS) to manage digital ecosystems. The ideas of the theory of the system of systems make it possible to form components and relationships between them for ecosystems of varying complexity. In addition, the ecosystem approach allows us to consider the architectural features of business models of economic objects and the IT architectural features of software systems as a mutually related set of components of the SoS metamodel. Ensuring interoperability and homeostasis of the system of systems are necessary properties of digital ecosystems. One of the tasks of managing the multicomponent multiserv environment of the IT architecture of the digital ecosystem is the task of building technology stacks and tools. The article presents systems engineering policies for designing the architecture of the digital ecosystem and its IT architecture from the point of view of organizing the system design life cycle.

Ключевые слова: системный инжиниринг, теория системы систем SoS, цифровая экосистема, бизнес-модели, «Индустрия 5.0», ИТ-архитектура, микросервисные ИТ-архитектуры.

Keywords: system engineering, SoS systems theory, digital ecosystem, business models, Industry 5.0, IT architecture, microservice IT architectures.

Введение

Политики системного инжиниринга при проектировании сложных систем реализуют комплексный подход к проектированию: от междисциплинарности исследований, формулировки требований заказчиков и пользователей, правил интеграции компонентов системы, их стратегическому взаимодействию, управлению жизненным циклом системы и т. д. Особое значение приобретают задачи архитектурного анализа и синтеза системы, требуются новые методы и модели обеспечения их стратегического взаимодействия.

Парадигма управления цифровыми экосистемами в условиях «Индустрии 5.0» базируется на новых способах формирования информационных потоков между участниками производства, бизнеса, государственного управления и т. д. Появились новые бизнес-модели управления хозяйствующими субъектами: платформы Интернета вещей, модель услуг в цепочке создания стоимости, модель торговой площадки, модель доверенного доступа к данным [1-5]. Расширяющаяся парадигма системного инжиниринга предприятий, программных систем позволяет распространить принципы управления на новые бизнес-модели, организационные системы, производственные системы, экосистемы [2].

Системный инжиниринг как наука для анализа и синтеза архитектур хозяйствующих субъектов применима для анализа и синтеза цифровых экосистем. Цифровые экосистемы как взаимосвязанные совокупности различных хозяйствующих субъектов имеют внутренний и внешний контуры управлений. К внутреннему контуру управления относятся компоненты цифровых экосистем, объединенных производством определенных продуктов (образовательных услуг, промышленной продукции, ИТ-услуг и т. д.) [6-11]. Управление многокомпонентной средой полиструктурной модели экосистемы предлагается описывать с помощью теории управления метамоделью SoS [4, 11]. Задачи описания архитектуры цифровой экосистемы необходимо связывать с задачами выбора и применения необходимых технологий и инструментальных средств для управления экосистемой. Системы поддержки и принятия решений об эффективности деятельности цифровой экосистемы используют анализ ключевых показателей деятельности всех игроков экосистемы.

Технологический стек инструментальных средств ИТ-архитектуры цифровой экосистемы

Определим цифровую экосистему как взаимосвязанную совокупность хозяйствующих субъектов, реализующих все этапы жизненного цикла производимого

продукта. Управлять цифровой экосистемой можно при организации такой технико-технологической платформы интеграции ресурсов, которая бы позволила собирать всю ИТ-архитектуру цифровой экосистемы по единым интегрирующим технологиям. Составляющими такой ИТ-архитектуры являются программно-аппаратная часть, операционная система, системы управления базами данных (СУБД), технологии управления данными, технологии управления знаниями, технологии визуализации управленческих решений и т. д. Обеспечение интероперабельности и гомеостаза системы систем — необходимые свойства цифровых экосистем.

Организация информационных потоков для цифровых экосистем связана с полиметрической системой сбора, обработки, хранения и передачи данных интегрирующего элемента полиструктуры [4]. Используемые для консолидации и синхронизации формализованных и неформализованных данных технологии в условиях ITSM подхода позволяют в едином интегрирующем пространстве управлять данными и конструировать мультисервисные среды.

Управление процессами цифровой экосистемы (ресурсное процессное управление) и управление процессами создания необходимой ИТ-инфраструктуры, программных систем — две одинаково важные задачи. Технологические стеки применяемых для этих задач инструментальных средств должны быть синхронизированы в соответствии с требованиями к управлению процессами этих задач.

Политики системного инжиниринга позволяют контролировать:

- связность отдельных задач;
- обеспечить общее понимание задач для людей разных специальностей;
- обеспечить комплексность получаемых решений (учет экономической, экологической и т. д. составляющих решений);
- устранять «узкие места», «нестыковки» процессов.

Терминологическая база «платформенного подхода» к управлению процессами в сложных системах содержит понятия: технико-технологическая платформа, технологическая платформа, программные системы, технологический стек и т. д. По сути, все эти понятия используются для формирования перечня необходимых инструментальных средств для управления жизненным циклом преобразования первичной измерительной информации о предметной области экосистемы в обработанную вторичную информацию. Так, программная система рассматривается как система, состоящая из программного и аппаратного обеспечения и данных, «главная ценность которой создается посредством исполнения программного обеспечения» [5]. Технико-технологическая платформа интеграции ресурсов, технологическая платформа рассматривается как комплексный механизм организации взаимосвязей между участниками бизнес-процессов конкретной бизнес-модели, «комплекс взаимосвязанных технологий, оборудования и программного обеспечения, который обеспечивает созда-

ние, развертывание и поддержку бизнес-приложений и процессов», является «фундаментом для создания бизнес-приложений» [6].

В настоящее время все чаще для обозначения набора необходимых программно-аппаратных средств, информационных цифровых технологий, технологической платформы и т. д. используется термин «технологический стек» [6]. Определим технологический стек как набор технологий (технологии бизнес-моделирования, хранения и обработки данных, знаний и т. д.), инструментов (веб-сайты, мобильные приложения, облачные сервисы и т. д.), программных компонентов (языки программирования, фреймворки, базы данных и т. д.) для создания программного продукта. Основным программным продуктом для управления цифровыми экосистемами является ИТ-сервис (бизнес-приложение). Для технологического стека выделяют клиентскую и серверную стороны, базы данных, инфраструктуру — все то, что позволяет «строить» программный продукт. Так, программным продуктом может быть ИТ-сервис для визуализация управленческого решения для систем поддержки и принятия управленческих решений. В контексте задач управления процессами в экосистемах мы рассматриваем в качестве программного продукта набор сервисов, реализующих визуализацию управленческого решения.

Цифровая экосистема может рассматриваться, например, как взаимосвязанная совокупность компонентов, включающая внешних игроков (например, поставщиков, компании логистики, маркетплейсы, государственные муниципальные структуры, банки и т. д.) и внутренних игроков (строительная компания, архитектурное бюро). Требования к функциональности такой экосистемы формулируют как заказчики (строительная компания), так и потребители (покупатели недвижимости). Насколько эффективны продажи на различных стадиях строительства, насколько обосновано финансирование жизненного цикла строительства, насколько целесообразна стоимость недвижимости? Каковы риски долгостроя? Политики системного инжиниринга позволяют многоаспектно реализовать проектирование такой цифровой экосистемы многокомпонентной среды — от выработки требований до оценки рисков. Какая ИТ-архитектура потребуется для обслуживания цифровой экосистемы?

При управлении цифровой экосистемой необходимая ИТ-архитектура может быть представлена наглядно в виде «пирамиды автоматизации», содержащей набор программных и программно-аппаратных средств [8, 9] (рис. 1).

На рис. 1 представлен технологический стек инструментальных средств и технологий, которые используются при управлении цифровой экосистемой. На рис. 1 обозначены: ERP (Enterprise Resource Planning) — корпоративная информационная система (КИС) управления ресурсами предприятия, ERP SOA — сервисно-ориентированная корпоративная информационная система; MES (Manufacturing Execution Systems) — производственная система; SCADA

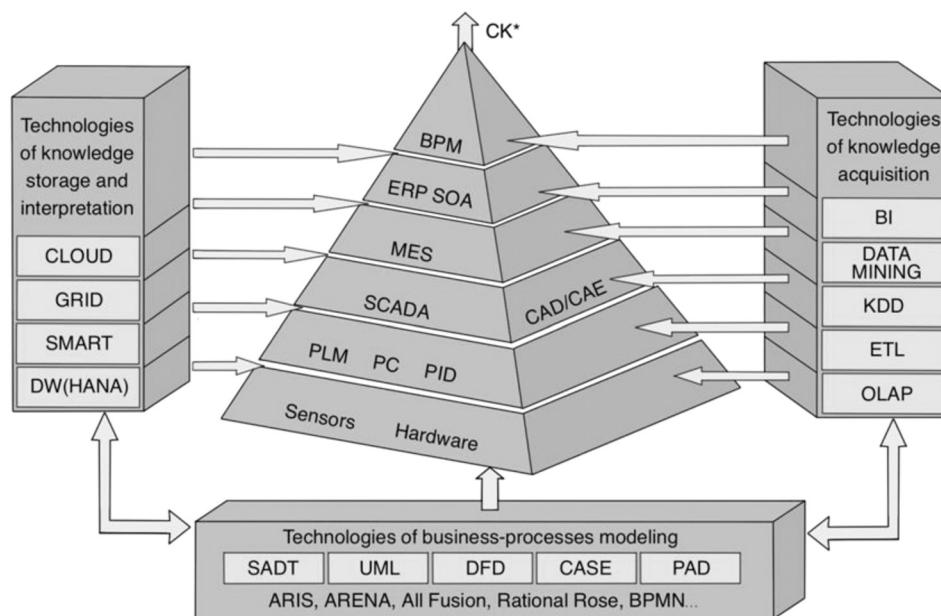


Рис. 1. Технологический стек инструментальных средств и технологий ИТ-инфраструктуры инновационной деятельности

(Supervisory Control And Data Acquisition) – система автоматизации управления данными о предметной области; PLM (Product Life-cycle Management) – прикладное ПО для управления жизненным циклом продукции, интегрированное в определенную ИТ-инфраструктуру, технологическую платформу; CAD (Computer Aided Design) – системы конструкторского проектирования, технологии автоматизации производства при проектировании технических устройств программно-аппаратной части КИС; CAE (Computer Aided Engineering) – технологии расчетов и инженерного анализа; CAM (Computer Aided Manufacturing) – системы технологической подготовки производства; PDM (Product Data Management) – системы управления проектными данными. На рис. 1 управленческое решение об эффективности деятельности цифрового предприятия проиллюстрировано управленческим контентом СК* [8].

Технологии моделирования бизнес-процессов на рис.1 представлены нотациями SADT, UML, DFD и т. д., инструментальными средствами моделирования All Fusion, ARIS, ARENA, Rational Rose.

В настоящее время для управления цифровыми экосистемами в условиях «Индустрии 4.0 и 5.0» для описания ИТ-архитектуры и архитектуры экосистемы используется эталонная модель архитектуры «Индустрии 4.0» (Industry 4.0) RAMI 4.0 [10]. RAMI 4.0, или эталонная архитектурная модель «Индустрии 4.0», представляет собой трехмерную карту, интегрирующую сведения об бизнес-архитектуре, жизненном цикле производимого продукта, уровнях управления предприятием. RAMI 4.0 – это унифицированная модель для всех компонентов, которая обеспечивает эффективный и действенный обмен данными и информацией всех участников экосистемы. Архитектурная модель RAMI 4.0 отображает всех игроков экосистемы в виде трехмерного пространства:

- архитектурного слоя в виде информации о бизнес-модели, оргструктуре, функциональности, сведе-

ний о коммуникационных технологиях, интеграционных механизмах;

- слоя об информации по потоку создания стоимости жизненного цикла конечного продукта в виде информации о конструкторской документации, технологических процессах, вспомогательных процессах;
- слой интеграции автоматизированных систем управления с управленческими системами предприятия на протяжении всего жизненного цикла систем; могут быть использованы для расширения существующих возможностей интеграции управленческих и производственных систем предприятия.

Начальным этапом реализации управления процессами цифровой экосистемы является идентификация ее архитектуры. Для идентификации бизнес-модели и интеграции бизнес-процессов многокомпонентных цифровых экосистем в ERP систему целесообразно использовать теорию системы систем (SoS). SoS «представляет собой набор систем или элементов системы, взаимодействующих для обеспечения уникальных возможностей, которые ни одна из составляющих систем не может реализовать самостоятельно. Как правило, такие системы являются динамически изменяющимися, имеют сложные структуры и разные целевые ориентиры, порой находящиеся в антагонистическом противоречии друг с другом в борьбе за совместно используемые ресурсы» [11].

На рис. 2 представлен механизм построения метамодели SoS, который складывается из нескольких шагов. Алгоритм построения метамодели и набор понятий для описания ее составляющих представлен в [4, 11].

После идентификации архитектуры цифровой экосистемы формируется необходимый технологический стек инструментальных средств и технологий (рис. 1) для интеграции бизнес-процессов в ядро стека – корпоративную информационную систему. Технологи-

Шаг 1 ↓	<p style="text-align: center;">Определение первичных компонентов SoS:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Целевая проблема на уровне SoS (связана с целями SoS, достижение которых обеспечивается путем интеграции нескольких компонентов SoS); – Инфраструктура на уровне SoS (определяет границу SoS и предоставляет сетевые средства для связи компонентов SoS); – Окружение уровня SoS (внешние сущности, которые взаимодействуют с инфраструктурой SoS и компонентами SoS); – Организация уровня SoS (определение конкретных ролей и назначений компонентов системы); – Составные системы (независимые системы, выполняющие частичные функции услуг на уровне SoS на основе назначенной роли)
Шаг 2 ↓	<p style="text-align: center;">Определение сущности уровня SoS:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Цель уровня SoS; – Требования (конкретные условия или возможности, которые должны быть выполнены, для достижения заданной цели); – Организационная роль (набор услуг в рамках SoS)
Шаг 3 ↓	<p style="text-align: center;">Определение сущностей уровня компонентов SoS:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Цели уровня компонента SoS (цели независимой системы); – Способность соответствовать требованиям SoS для создания условий достижения целей SoS; – Интерфейс уровня компонента SoS для предоставления уровня услуг компонента SoS или обмена информацией; – Механизмы принятия решений на уровне компонента SoS; – Заинтересованные стороны уровня компонента SoS; – Домен уровня компонента SoS (может быть представлен в виде модели домена для определения концепций и отношений); – Жизненный цикл уровня компонента SoS; – Окружение уровня компонента SoS (сущности, находящиеся за пределами компонента SoS, взаимодействующие с ним)
Шаг 4 ↓	<p style="text-align: center;">Определение объектов среды на уровне SoS:</p> <p>Применительно к каждому внешнему по отношению к SoS объекту необходимо иметь данные:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ресурсы уровня SoS (материалы, финансы, люди и т.д.) компонента SoS, которые можно привлечь для достижения целей SoS; – Состояние ресурсов (является ли ресурс доступным или потенциально возможным и при каких условиях); – Физическая среда уровня SoS (факторы окружающей среды в физически измеримых формах)

Рис. 2 Алгоритм построения метамодели

ческий стек должен содержать помимо технологий и инструментов, представленных на рис. 1, технологии и инструменты системы поддержки и принятия управленческих решений. Это, как правило, технологии искусственного интеллекта и машинного обучения, нечеткого выбора, технологии многомерного анализа данных и т. д.

Основной особенностью используемого подхода теории SoS к описанию архитектуры цифровой экосистемы является наличие интегрирующего элемента в полиструктурной системе, в котором отражаются функции и процессы, протекающие в ее различных составляющих элементах. В [4] предлагается формировать интегрирующий элемент полиструктурной системы, назначением которого является управление «историей взаимодействий компонентов полиструктуры» [12-18]. Пространство управления приобретает характер «умного пространства». На основе полимерической системы ведется согласованное взаимодействие в пространственно-временных измерениях такого «умного пространства». Работоспособность такого интегрирующего элемента должно обеспечиваться выбором соответствующего технологического стека.

Однако наращивание необходимых цифровых технологий для управления цифровыми экосистемами зависит от требований к управленческим решени-

ям. Например, если требуется помимо мониторинга показателей деятельности компонентов цифровой экосистемы иметь информацию о расширенном бизнес-анализе (распознавание текстов, применение технологий искусственного интеллекта, машинного обучения с использованием векторизации и моделей эмбеддеров), технологический стек цифровых должен содержать технологии искусственного интеллекта, машинного обучения и технологий управления знаниями [19-23]. В качестве примера приведем технологический стек, необходимый для систем поддержки и принятия управленческих решений для задачи языковой поддержки распознавания совокупности различных фрагментов неструктурированной информации из разных источников информации. На рис. 3 представлен технологический стек инструментов для задачи языковой поддержки распознавания текстов:

Таким образом, применение принципов системного инжиниринга и теоретического базиса SoS позволяет внедрить архитектурный подход для проектирования и описания поведения взаимосвязанной совокупности компонентов цифровой экосистемы. Формирование технологических стеков инструментальных средств для управления компонентами цифровых экосистем и поддерживающих их ИТ-архитектур необходимо рассматривать с точки зрения визуализации и содержания требуемых управленческих решений.

Компонент	Инструменты / библиотеки
Хранение структурированных данных	Jatoba, Postgres Pro, ClickHouse
Полнотекстовый поиск	OpenSearch (полный open-source аналог Elasticsearch), Solr, Typesense
Распознавание текста из цифровых материалов	Apache Tika, GROBID, Tesseract (OCR)
Извлечение сущностей (NER)	SpaCy, Flair, DeepPavlov NER
Векторизация текста	FRIDA (от SBER)
Векторный поиск	FAISS, Weaviate, Qdrant, Vespa
Хранение графа знаний	Neo4j, ArangoDB, RDFLib, Blazegraph, Apache AGE
Языковые модели LLM для генерации текста	Qwen2.5-7B-Instruct-1M (Alibaba Group)
Retrieval-Augmented Generation (RAG)	LangChain, LlamaIndex, Haystack
Интерфейс пользователя	React, Vue, Angular, Streamlit, Gradio
Визуализация графов и данных	D3.js, Cytoscape.js, Graphistry, NetworkX + matplotlib
Оркестрация / пайплайны	Airflow, Prefect, Luigi, Nifi
Контейнеризация и развертывание	DeckHouse, NOVA Container Platform, Helm,
Мониторинг и логирование	Grafana, Zabbix, Prometheus, ELK Stack, Sentry
API и интеграции	FastAPI, Flask, gRPC, REST/GraphQL

Рис. 3. Технологический стек инструментальных средств языковой поддержки распознавания текстов с использованием технологий искусственного интеллекта

Технологии и инструменты проектирования мультисервисной ИТ-архитектуры цифровых экосистем

На современном этапе цифровой трансформации ключевую роль в создании новых бизнес-моделей являются цифровые сервисы, под которыми понимаются основанные на цифровых технологиях системы оказания услуг, предоставляемых через современные вычислительные сети, включая интернет [24]. Данное понятие объединяет в себе как сами услуги, оказываемые в рамках данного сервиса, так и специальным образом организованное программное обеспечение. Ключевой задачей внедрения цифровых сервисов в ИТ-архитектуру цифровых экосистем является качественное улучшение или ускорение процессов жизнедеятельности, организационных или бизнес-процессов, в том числе производственных процессов [25]. Такой способ организации бизнеса получил названия Сервис-ориентированным подходом (Service oriented Approach) [26], и затрагивает не только ИТ-инфраструктуру, но и все остальные уровни архитектуры экосистемы (табл. 1).

В табл.2 представлены ключевые принципы, отличающие сервисный подход от функционального управления.

Внедрение такого подхода началось в ИТ с развитием фреймворка ITIL [27], однако сейчас эта концепция активно применяется в различных сферах, например в маркетинге [28] и государственном управлении [29]. При этом предпосылки такого подхода были заложены еще в 1990-х гг. в рамках развития таких концепций, как виртуальные предприятия [30]. По сути, это форма взаимодействия различных организаций (подразделений), ориентированных на решение общих задач, в рамках которого все участники распределяют между собой выполняемые работы в формате цифровых сервисов. Обобщение полученного опыта в различных сферах деятельности позволяет определить архитектуру сервисно-ориентированной организации (рис. 4).

Преимущества данной архитектуры:

- масштабируемость — возможность независимого масштабирования отдельных компонентов без влияния на всю систему;

Таблица 1

Изменения, проходящие на различных уровнях архитектуры предприятия при внедрении цифровых сервисов

Уровень	Проводимые изменения
Стратегия и мотивация	Фокус на ценность для потребителя, клиентоориентированность
Бизнес-уровень	Отказ от функционального подхода в управлении, отказ от «жестких» бизнес-процессов, повсеместное введение соглашений об уровне сервиса (SLA)
Уровень приложений	Отказ от монолитных систем в пользу микросервисной архитектуры, повсеместное введение механизмов коммуникации между информационными системами на основе API
Технологический уровень	Переход от консолидированных систем к распределенным, включая системы хранения данных, широкое использование облачных технологий

Ключевые характеристики сервисно-ориентированного подхода

Принцип	Содержание
Модульность	Каждая операция функционально автономна и может быть независимо изменена, масштабирована или переиспользована, что способствует гибкости всей системы
Контрактная согласованность	Требования к качеству услуг фиксируют не только ожидаемый результат, но и допустимые отклонения по времени, объему и качеству, формируя основу для оценки надежности
Интерактивная обратная связь	Результаты операций измеряются в реальном времени и используются для немедленной корректировки параметров работы, что обеспечивает самообучаемость и адаптивность сервиса

- устойчивость к сбоям — сбой одного сервиса не приводит к отказу всей системы;
- гибкость — оперативное добавление новых функций или сервисов;
- интеграция с подрядчиками — через API-интерфейсы обеспечивается безопасный и стандартизированный обмен данными с внешними ИС.

Предложенная архитектура обеспечивает технологическую основу для виртуального предприятия, позволяя компаниям реализовывать сложные проекты с высокой степенью управляемости, прозрачности и цифровой трансформации всех процессов.

Однако такой подход имеет ряд ограничений, ключевым из которых является сложность управления в высоконагруженных ситуациях, когда объем необходимых к выполнению услуг превышает имеющиеся ресурсы. В этой ситуации требуются новые подходы к управлению, в основе которых лежат механизмы «оркестровки» (централизованное управление) и «хореографии» (децентрализованное управление)

Оркестровка — централизованное управление взаимодействием между компонентами или службами, осуществляемое центральным контроллером (оркестратором), который координирует выполнение различных задач или процессов, направляя их к соответствующим участникам или системам на основе заранее определенных правил и условий [29].

Хореография — децентрализованное управление взаимодействием между компонентами или службами без центрального контроллера, где каждый компонент отвечает за понимание своей роли и координацию общения с другими компонентами системы [30, 31].

Несмотря на то, что данные подходы являются относительно новыми на бизнес-уровне, они активно используются в управлении на уровне приложений. Например, механизмы хореографии активно используются в микросервисной архитектуре. При этом оркестровка активно применяется как в управлении облачными сервисами, где в качестве центрального контроллера выступает корпоративная сервисная

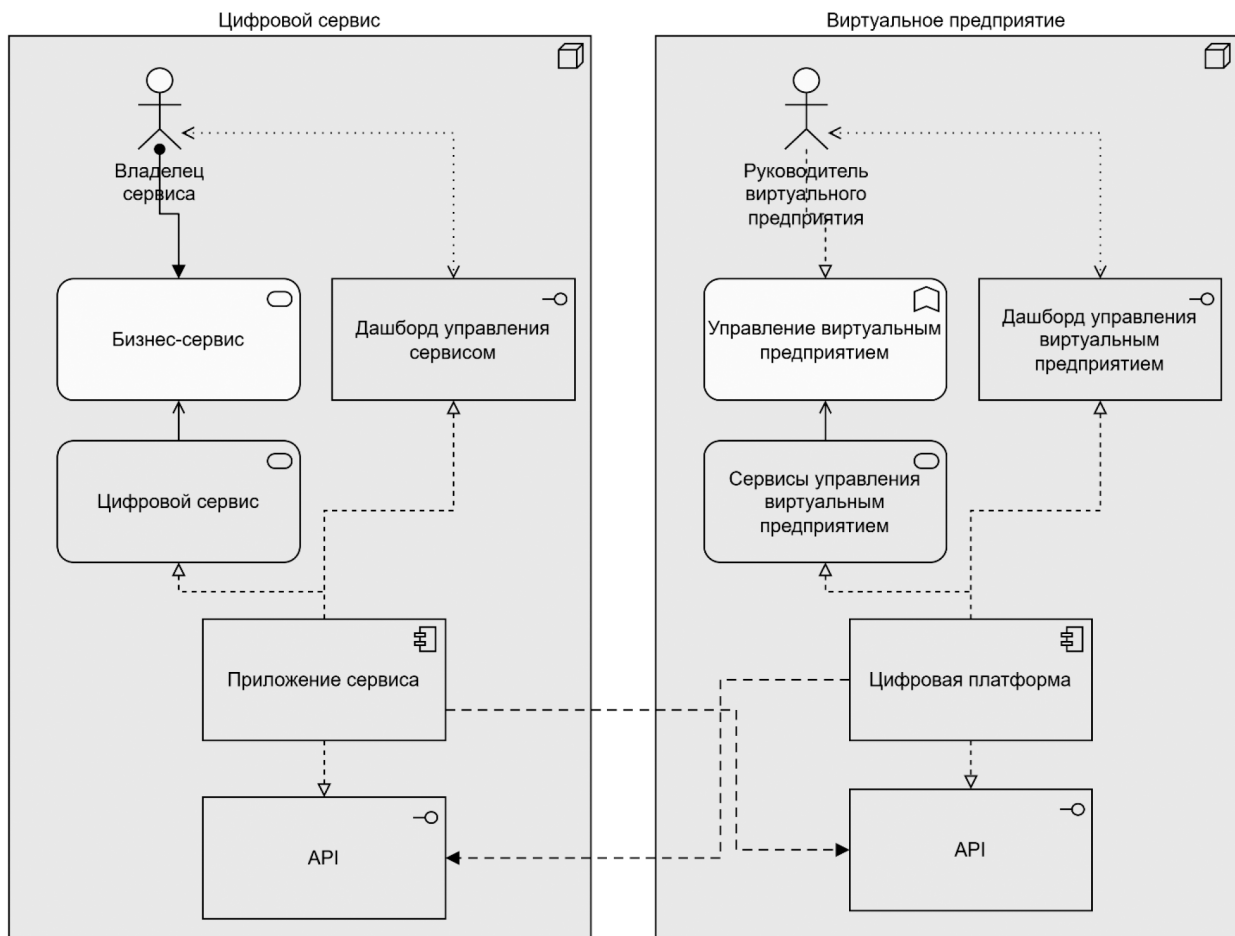


Рис. 4. Сервисная архитектура виртуального предприятия в составе экосистемы

шина, так и в микросервисной архитектуре с использованием таких технологий как Service Gate и BFF (Backend for Frontend) [32]. Чтобы реализовать данные подходы на бизнес-уровне требуется их адаптация, что является одной из ключевых задач внедрения сервисно-ориентированного подхода в бизнесе.

Заключение

В статье представлен экосистемный подход к описанию архитектуры и ИТ-архитектуры цифровых экосистем как взаимосвязанной совокупности компонентов метамодели SoS. Управление много-

компонентной средой полиструктурной модели экосистемы как новой бизнес-модели предлагается описывать с помощью теории управления метамоделью SoS. Задачи описания архитектуры цифровой экосистемы необходимо связывать с задачами выбора и применения необходимых технологий и инструментальных средств для управления экосистемой. Представлен современный подход к формированию технологических стеков инструментальных средств, необходимых для управления жизненным циклом проектирования как цифровой экосистемы, так и ее мультисервисной ИТ-архитектуры.

Список использованных источников

1. M. W. Maier. Architecting Principles for Systems-of-Systems//Syst. Eng. Vol. 1. № 4. P. 267-284. 1998. <https://asymmetricleadership.com/wp-content/uploads/2020/04/architectingprinciplesofsystemsofsystemsMAIER.pdf>.
2. Е. З. Зиндер. Расширяющаяся парадигма инжиниринга предприятия//Бизнес-информатика. 2016. № 4 (38). С. 7-18. [https://bijournal.hse.ru/data/2017/02/13/1167152099/%D0%97%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D1%80%20\(Ru\).pdf](https://bijournal.hse.ru/data/2017/02/13/1167152099/%D0%97%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D1%80%20(Ru).pdf).
3. Ja. Axelsson. A Refined Terminology on System-of-Systems Substructure and Constituent System States//2019 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE), July 2019. https://www.researchgate.net/publication/334241341_A_Refined_Terminology_on_System-of-Systems_Substructure_and_Constituent_System_States.
4. В. В. Шведенко. Полиструктурное моделирование сложных систем для их эффективного взаимодействия//Системный анализ в проектировании и управлении. СПб.: Изд-во: СПбГТУ Петра Великого, 2024. <https://cyberleninka.ru/article/n/polistrukturnoe-modelirovanie-slozhnyh-sistem-dlya-ih-effektivnogo-vzaimodeystviya>.
5. Д. Бесков. Что мы создаем в ИТ-проектах. <http://systems.education/it-project-rezult>.
6. Какой технологический стек выбрать для проекта. <http://scan.com/ru/company/blog/choosing-technology-stack>.
7. Ю. Ф. Тельнов, А. А. Брызгалов, П. А. Козырев, Д. С. Королева. Выбор типа бизнес-модели для реализации стратегии цифровой трансформации сетевого предприятия//Бизнес-информатика. Т. 16. № 4. С. 50-66. <https://bijournal.hse.ru/2022-4%20Vol.16/803949964.html>.
8. Теоретическая инноватика: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры/Под ред. И.А. Брусаковой. М.: Юрайт, 2024. 333 с. <https://urait.ru/book/teoreticheskaya-innovatika-563611>.
9. И. А. Брусакова, К. А. Карпов, Н. Н. Покровская и др. Технологии цифровых трансформаций экосистем: монография. СПб.: Изд-во: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2025. 425 с.
10. RAMI 4.0 (Reference Architectural Model Industry 4.0): Explained with example — KR Architecture World. https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference_architectural_model_industrie_4_0_rami_4_0.pdf.
11. Y.-M. Baek, J. Song, Y.-J. Shin et al. A Meta-Model for Representing System-of-Systems Ontologies//2018 IEEE/ACM 6th International Workshop on Software Engineering for System-of-Systems (SESoS). 27 August 2018. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8445798>.
12. ГОСТ Р 57100-2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Системная и программная инженерия. Описание архитектуры. <https://docs.cntd.ru/document/1200139542>.
13. ISO/IEC/IEEE 42010:2022 Systems and software engineering. Architecture description. <https://www.iso.org/standard/74393.html>.
14. В. Ференц. Цифровая платформа как основа новых бизнес-моделей. <https://bosfera.ru/bo/cifrovaya-platforma-kak-osnova-novyh-biznes-modeley>.
15. IEEE Std 1471-2000. Recommend Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems. <https://standards.ieee.org/ieee/1471/2187>.
16. OGDPA Digital Practitioner Body of Knowledge™ Community Edition. <https://theopengroup.gitlab.io/dpbok-community-edition/html/DPBoK-CE.html>.
17. OG0AA Open Agile Architecture. <https://pubs.opengroup.org/architecture/oa-standard-single>.
18. The TOGAF® Standard, a standard of The Open Group. <https://www.opengroup.org/www.geao.org>.
19. Deep learning & Machine learning: в чем разница. <https://datastart.ru/blog/read/deep-learning-machine-learning-v-chem-raznica>.
20. Немного про Grok-2. <https://habr.com/ru/companies/bothub/articles/852506>.
21. Google представила Gemini 2.0 Flash Thinking. <https://habr.com/ru/companies/bothub/news/869370>.
22. DeepSeek. <https://www.deepseek.com>.
23. OpenAI. Цифровой сервис: что это такое и как работает. https://yasnoo.ru/tsifrovoy_servis.html.
24. Приказ Минкомсвязи России от 01.08.2018 г. № 428 «Об утверждении разъяснений (методических рекомендаций) по разработке региональных проектов в рамках федеральных проектов национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343571.
25. Сервис-ориентированные организации. <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/814273>.
26. C. Agutter. ITIL® Foundation Essentials ITIL 4 Edition. The ultimate revision guide. IT Governance Publishing Ltd, 2024. <https://www.oreilly.com/library/view/itil-foundation-essentials/9781787782150>.
27. Пользователь и инструменты его исследования: CJM, Blueprint, JTBD, jobs story, Карта эмпатий, User story. <https://habr.com/ru/articles/662672>.
28. Государство как платформа: люди и технологии/Под ред. М. С. Шклярчук. М: РАНХиГС, 2019. С. 111.
29. А. В. Катаев. Виртуальные бизнес-организации. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 120 с.
30. Хореография, оркестрация и Event Driven Orchestration. <https://habr.com/ru/articles/831814>.
31. Паттерны Gateway и Backend-for-Frontend. <https://doka.guide/tools/gateway-bff>.

References

1. M. W. Maier. Architecting Principles for Systems-of-Systems//Syst. Eng. Vol. 1. № 4. P. 267-284. 1998. <https://asymmetricleadership.com/wp-content/uploads/2020/04/architectingprinciplesofsystemsofsystemsMAIER.pdf>.
2. E. Z. Zinder. The expanding paradigm of enterprise engineering//Business Informatics. 2016. № 4 (38). P. 7-18. [https://bijournal.hse.ru/data/2017/02/13/1167152099/%D0%97%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D1%80%20\(Ru\).pdf](https://bijournal.hse.ru/data/2017/02/13/1167152099/%D0%97%D0%B8%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D1%80%20(Ru).pdf).
3. Ja. Axelsson. A Refined Terminology on System-of-Systems Substructure and Constituent System States//2019 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE), July 2019. https://www.researchgate.net/publication/334241341_A_Refined_Terminology_on_System-of-Systems_Substructure_and_Constituent_System_States.
4. V. V. Shvedenko. Polystructural modeling of complex systems for their effective interaction//System analysis in design and management. St. Petersburg, polytechnic university publishing house, 2024. <https://cyberleninka.ru/article/n/polistrukturnoe-modelirovanie-slozhnyh-sistem-dlya-ih-effektivnogo-vzaimodeystviya>.
5. D. Beskov. What we create in IT projects. <http://systems.education/it-project-rezult>.
6. Which technology stack should I choose for the project. <http://scan.com/ru/company/blog/choosing-technology-stack>.
7. Yu. F. Telnov, A. A. Bryzgalov, P. A. Kozzyrev, D. S. Koroleva. Choosing the type of business model for implementing the digital transformation strategy of a network enterprise//Business informatics. 2022. Vol. 16. № 4. P. 50-66. <https://bijournal.hse.ru/2022-4%20Vol.16/803949964.html>.
8. Theoretical innovation: textbook and practical course for bachelor's and master's degrees/Edited by I. A. Brusakova. Moscow, Urite, 2024. 333 p. <https://urait.ru/book/teoreticheskaya-innovatika-563611>.
9. I. A. Brusakova, K. A. Karpov, N. N. Pokrovskaya et al. Technologies of digital transformation of ecosystems: a monograph. St. Petersburg, SPbSETU «LETI» publishing house, 2025. 425 p.
10. RAMI 4.0 (Reference Architectural Model Industry 4.0): Explained with example — KR Architecture World. https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/a2-schweichhart-reference_architectural_model_industrie_4_0_rami_4_0.pdf.

11. Y.-M. Baek, J. Song, Y.-J. Shin et al. A Meta-Model for Representing System-of-Systems Ontologies//2018 IEEE/ACM 6th International Workshop on Software Engineering for System-of-Systems (SESoS). 27 August 2018. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8445798>.
12. GOST R 57100-2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 System and software engineering. Architecture description. <https://docs.cntd.ru/document/1200139542>.
13. ISO/IEC/IEEE 42010:2022 Systems and software engineering. Architecture description. <https://www.iso.org/standard/74393.html>.
14. V. Ferenc. Digital platform as the basis of new business models. <https://bosfera.ru/bo/cifrovaya-platforna-kak-osnova-novyh-biznes-modeley>.
15. IEEE Std 1471-2000. Recommend Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems. <https://standards.ieee.org/ieee/1471/2187>.
16. OGDП Digital Practitioner Body of Knowledge™ Community Edition. <https://theopengroup.gitlab.io/dpbok-community-edition/html/DPBoK-CE.html>.
17. OGOAA Open Agile Architecture. <https://pubs.opengroup.org/architecture/o-aa-standard-single>.
18. The TOGAF® Standard, a standard of The Open Group. <https://www.opengroup.org/www.geao.org>.
19. Deep learning & Machine learning: what is the difference. <https://datastart.ru/blog/read/deep-learning-machine-learning-v-chem-raznica>.
20. A little bit about Grok-2. <https://habr.com/ru/companies/bothub/articles/852506>.
21. Google unveils Gemini 2.0 Flash Thinking. <https://habr.com/ru/companies/bothub/news/869370>.
22. DeepSeek. <https://www.deepseek.com>.
23. OpenAI. Digital service: what it is and how it works. https://yasnoo.ru/tsifrovoj_servis.html.
25. Order № 428 of the Ministry of Communications of the Russian Federation dated 08/01/2018 «On approval of clarifications (methodological recommendations) on the development of regional projects within the framework of federal projects of the national program «Digital economy of the Russian Federation». https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343571.
26. Service-oriented organizations. <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/814273>.
27. C. Agutter. ITIL® Foundation Essentials ITIL 4 Edition. The ultimate revision guide. IT Governance Publishing Ltd, 2024. <https://www.oreilly.com/library/view/itil-foundation-essentials/9781787782150>.
28. The user and his research tools: CJM, Blueprint, JTBD, jobs story, Empathy Map, User story. <https://habr.com/ru/articles/662672>.
29. The state as a platform: people and technologies/Edited by M. S. Shklyaruk. Moscow, RANEPА, 2019. 111 p.
30. A. V. Kataev. Virtual business organizations. St. Petersburg, Polytechnic university publishing house, 2009. 120 p.
31. Choreography, orchestration, and event driven orchestration. <https://habr.com/ru/articles/831814>.
32. Gateway and Backend-for-Frontend patterns. <https://doka.guide/tools/gateway-bff>.