

Подходы к описанию систем и структур как постоянно расширяющаяся парадигма инжиниринга предприятия

И. А. Брусакова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

brusakovai@mail.ru

Аннотация. Кибернетический аспект управления цифровыми трансформациями на предприятии заключается в описании набора процедур управления данными, процессами, проектами, инфраструктурой в условиях единого фреймворка: от приобретения информации о физическом объекте, бизнес-процессе до формирования цепочки вывода управленческого решения об эффективности деятельности предприятия. Расширение парадигмы системного инжиниринга предприятия на новые типы бизнес-моделей приводит к появлению таких понятий как «экосистема», «цифровая экосистема». В докладе будут представлены политики системного инжиниринга для проектирования архитектуры цифровых экосистем и программных систем при управления цифровыми экосистемами.

Ключевые слова: системный инжиниринг; архитектура предприятия; цифровая экосистема; технологии управления системами систем SoS.

I. ВВЕДЕНИЕ

Представление цифрового предприятия, цифровой экосистемы как сложной динамической киберфизической системы в условиях новых бизнес-моделей Индустрии 5.0 позволяет рассматривать экосистему как систему систем (System of Systems или SoS). Новые бизнес-модели поддерживают современные тренды технологического развития: обеспечение платформенности цифровых решений, возможность применения Big Data технологий для консолидации разноформатной информации. Под новыми бизнес-моделями понимаются модели: платформы Интернета вещей, модель услуг в цепочке создания стоимости, модель торговой площадки, модель доверенного доступа к данным [1–5].

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 позволили собирать всю ИТ-инфраструктуру цифровой экосистемы по единым интегрирующим технологиям. Составляющими такой ИТ-инфраструктуры являются программно-аппаратная часть, операционная система, системы управления базами данных (СУБД), технологии управления данными, технологии визуализации управленческих

решений. Обеспечение интероперабельности и гомеостаза системы систем – необходимые свойства цифровых экосистем.

II. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ КАК МЕТАМОДЕЛИ SoS

Принципы системного инжиниринга позволяют при формировании новых архитектур бизнес-моделей решать задачи автоматизации управления процессами от целей и задач конкретного предприятия к формированию требований по организации программных систем для получения цифровых решений.

Цифровые трансформации как множество цифровых решений представим множеством инновационных проектов, позволяющих получить кардинально новые бизнес-процессы, бизнес-архитектуры и бизнес-модели. Так, например, компания Dassault Systèmes выработала методику внедрения комплексных проектов трансформации деятельности предприятий под названием «Value Engagement» – ценность взаимодействия. Под ценностью взаимодействия понимается ценность организации взаимосвязей между составляющими системы компонентами [4].

Современный ИТ-ландшафт цифровых экосистем формируется взаимосвязанной совокупностью составляющих: технико-технологических платформ с хранилищами данных (DW), корпоративных информационных систем (ERP), информационных систем, разработанных собственными силами, облачных сервисов, ИТ-сервисов бизнес-аналитики, цифровыми коммуникациями и т. д.

Целесообразным является применение для проектирования цифровых экосистем RFLP (Requirements – Functional – Logical – Physical) принципов системного инжиниринга [3,4]. Единый подход, реализующий описание целей, задач, требований, архитектуры, возможностей проектирования цифровых продуктов, позволяет обеспечить новый уровень стыковки всех процессов управления. Применение при проектировании моделей MBSE (системный инжиниринг на основе моделей – Model Based Systems Engineering) позволяет выявить существующие разрывы последовательности шагов этапов системного инжиниринга.

Ценность архитектурного подхода, например, заключается в возможности «взгляда на предприятие в целом»:

- с сохранением связности отдельных задач;
- общим пониманием задач для людей разных специальностей;
- комплексностью получаемых решений (учет экономической, экологической и т. д. составляющих решений).

Методика «Value Engagement» обеспечивает подход к проектированию «сверху вниз», то есть обеспечивает последовательное развитие проекта от целей и задач, поставленных на уровне предприятия, через организационное и процессное устройство предприятия – к уровню технологических решений. Благодаря всесторонней проработке проекта с точки зрения текущей деятельности компании и перспектив ее развития обеспечивается достижение инвестиционных целей предприятия. Путь – от задач предприятия, его необходимой архитектуры к технологиям.

Используемыми подходами системного инжиниринга для описания систем и структур являются [4]:

- MBSE (системный инжиниринг на основе моделей – Model Based Systems Engineering), который позволяет выявить те самые нестыковки и проблемы управления, внести необходимые изменения в процессы проектирования конечной продукции, изделий, услуг уже на ранних этапах разработки;
- RFLP (Requirements – Functional – Logical – Physical) подход, который используется для описания целей, задач, требований, архитектуры, возможности проектирования цифровых продуктов как цифровых двойников в киберфизической среде, позволяет обеспечить новый уровень стыковки всех процессов управления.

Этапы системного инжиниринга как этапы построения метамодели системы систем определены в [4] следующим образом:

- определение первичных компонентов SoS (целевая проблема на уровне SoS, сценарно-игровое взаимодействие компонентов системы, внешняя и внутренняя среда);
- определение сущности уровня SoS (цель, требования, роль компонента);
- определение уровней сущности компонента (цели компонента, модели принятия решений, интерфейс, проверка соответствия целям системы, жизненный цикл компонента, окружение и т. д.);
- определение объектов среды на уровне SoS (ресурсы среды, состояние ресурсов и т. д.).

Согласно определению в [1] «SoS представляет собой набор систем или элементов системы, взаимодействующих для обеспечения уникальных возможностей, которые ни одна из составляющих систем не может реализовать самостоятельно». Майер М. в [1] охарактеризовал SoS как систему, обладающую

операционной и управленческой независимостью, географическим распределением, эволюционным развитием и эмерджентным поведением.

Метрики для проведения структурного анализа SoS предложены Джакоб Ахелсон в [3].

На рис. 1 представлена структура цифровой экосистемы

III. ТЕХНОЛОГИИ И СТАНДАРТЫ СИСТЕМНОГО ИНЖИНИРИНГА ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ

Политика системного инжиниринга направлена на стандартизацию этапов инновационного проектирования систем. Так, для программных систем сначала формулируются цели и задачи автоматизации для всех участников цифровой экосистемы. Только после этого этапа осуществляется внедрения технологий управления архитектурой, моделирования бизнес-процессов, выбор и внедрение фреймворков, выбор технологий предиктивной аналитики, искусственного интеллекта.

К необходимому набору технологий системного инжиниринга при проектировании программных систем относятся:

DDD (Domain-Driven Design) – предметно-объектное проектирование программного обеспечения, позволяющее учесть требования клиентов и разработчиков. При таком подходе есть основной домен, ядро продукта и множество субдоменов по множеству задач [6–7].

Основные аспекты бизнес-архитектуры поддерживаются с помощью идеологии BIZBook [7-9], с помощью которой связываются задачи формулировки целей, стратегии и задачи автоматизации управления конкретным ресурсом предприятия.

Стандарты Babok [10] позволяют использовать технологии инженерии знаний и бизнес-аналитики.

MDE (Model Driven Engineering) **Model-driven engineering (MDE)** – это методология разработки программного обеспечения, которая акцентирует внимание на использовании моделей как основных артефактов в процессе.

Стандарты архитектурного подхода в системном инжиниринге [11–15]:

Стандарт ГОСТ Р 59194-2020 Управление требованиями [11] как стандарт определения целей, задач, архитектуры предприятия, требования по жизненному циклу проектирования изделий и стандарт OGDП (Open Group Digital Practitioner) [12] как стандарт разработки программных систем позволяют по единым принципам использовать фреймворки Digital Practitioner Body of Knowledge для автоматизации всех этапов жизненного цикла изделия от разработки до запуска на рынок.

OGOAA (Open Agile Architecture) [13] – стандарт

TOGAF Standard 2018 [14] посвящен описанию:

«структуры компонентов, их взаимосвязей, а также принципов и руководящих указаний, регулирующих их проектирование и реализацию с течением времени» [14].

«Основные понятия или свойства системы в ее среде, воплощенные в ее элементах, отношениях и в принципах ее проектирования и эволюции» [15].

В [17] предлагается новая технология построения фреймворка для Agile подхода – SAFE (Scale Agile Framework), заключающаяся в объединении данных по всем компонентам цифровой экосистемы: потребителей, разработчиков, предприятия, бизнеса, государства и т. д.

Для такого фреймворка реализуются технологии ACM (Adaptive Case Managemen) [18], которые позволяют отслеживать, обновлять, интерпретировать информацию обо всех компонентах экосистемы, используя сквозную интеграцию данных.

В качестве языков программирования и формирования системы управления базами данных цифровых экосистем используются: PostgreSQL, MongoDB, Django [16].

Наиболее востребованными технологиями системного инжиниринга цифровых экосистем в настоящее время являются технологии искусственного интеллекта (AI). Это движение к технологиям искусственного интеллекта, роботизации при формировании цифровых решений – необходимые условия технологического развития Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0. Тем самым повышается уровень цифровой зрелости экосистем.

Востребованные в настоящее время технологии искусственного интеллекта приведены далее в кратком обзоре.

Технологии AGI– это гипотетический интеллект, обладающий когнитивными возможностями, соизмеримыми с человеческими, способный работать в любой предметной области. Теоретическое стремление к разработке систем искусственного интеллекта, обладающих автономным самоконтролем, достаточной степенью самосознания и способностью осваивать новые навыки. Технологии такого интеллекта находятся на стадии запуска инноваций, предполагаемый срок разработок – 10 лет. В частности, американская компания Open AI проводит исследовательские работы в этой области. Разработка этой компании GPT-4.5 представляет новую модель визуального сопровождения, приближенного к многофункциональности компьютерного зрения.

Технологии Advanced AI Deep Learning (DL), которые являются подмножеством технологий машинного обучения и подмножеством технологий искусственного интеллекта. Технологии машинного обучения позволяют управлять алгоритмами искусственного интеллекта без вмешательства человека, только на основе анализа данных. Технологии DL используют многоуровневые слои в представлении алгоритмов, с помощью которых могут по-разному интерпретировать одни и те же данные. Многие используют DL и ML (Deep learning & Machine learning) при условии: DL более функциональна как технология ML/AI [19].

Технологии GPT-40, Grock-2, разработанные в компании Илона Маска, используются пользователями

соцсети X как технология инженерии знаний, позволяющая формировать рассуждения в чате [20].

Технологии Genini Thinking реализуют модель мгновенного мышления Gemini 2.0. Это экспериментальная модель, обученная генерировать «процесс мышления». В результате модель мгновенного мышления обладает более сильными логическими способностями в своих ответах, чем экспериментальная модель Gemini 2.0 Flash [21].

Технологии Deep Seek-R1 DeepSeek-AI – китайская компания по разработке передовых AI-технологий и масштабных языковых моделей (LLM) за счет использования смешанной архитектуры экспертов. Ее флагманский продукт – чат-бот DeepSeek. DeepSeek, как и ChatGPT или Gemini, обучена на текстовых данных (книги, статьи, диалоги). В зависимости от версии, модель может быть настроена на решение конкретных задач, таких как: придумать ответ для пользователя, решить математическую задачу, написать продающий текст [22]. DeepSeek предсказывает наилучшие варианты ответа, используя паттерны, усвоенные во время обучения. Модель учитывает контекст диалога (предыдущие реплики в беседе), семантику запроса (скрытые намерения пользователя) и достоверность информации, исключая ошибки с помощью фильтров.

Технологии Open AI генерируются в компаниях Илона Маска и преследуют общечеловеческие гуманитарные цели использования информации [23]. С технологиями этой компании связываются понятия сильного искусственного интеллекта, высокоавтономные системы и построение больших языковых моделей.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье представлены стандарты и технологии системного инжиниринга цифровых экосистем как метамodelей SoS. Основным требованием к анализу цифровых систем как метамodelей SoS – наличие взаимосвязанных компонентов сложной цифровой экосистемы.

Расширяющаяся парадигма инжиниринга предприятия объясняется распространением основных принципов системного инжиниринга на все большее количество взаимосвязанных компонентов системы. Предприятие уже рассматривается с позиций взаимосвязанных компонентов внешней и внутренней сред управления как киберфизическая система.

В статье приведен перечень необходимых стандартов, технологий, инструментов, методологий в области управления инновационным проектированием с использованием политик системного инжиниринга. Политики системного инжиниринга распространяются на архитектуры цифровых экосистем и на программные системы для управления цифровыми экосистемами.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Выражаю благодарность в подготовке материалов статьи Генеральному директору ООО «Т-ИННОВАТИК», к.э.н. Шведенко Валерии Валериевне, которая интересуется этой тематикой научных исследований и д.э.н., проф. Санкт-Петербургского технического университета Петра Великого Волковой

Виолетте Николаевне за проведение постоянно действующих научных семинаров по системному анализу и управлению в Доме Ученых Санкт-Петербурга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Maier M.W., "Architecting Principles for Systems-of-Systems" // Syst. Eng., vol. 1, no. 4, pp. 267-284, 1998.
- [2] Зиндер Е.З. Расширяющаяся парадигма инжиниринга предприятия. – Бизнес-информатика, URL: [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] Axelsson Ja. A Refined Terminology on System-of-Systems Substructure and Constituent System States// 2019 14th Annual Conference System of Systems Engineering (SoSE), July 2019.
- [4] Планета САМ. Информационно-аналитический электронный журнал URL: https://www.planetacam.ru/articles/tekhnologii/sistemnyy_inzhiniring_dassault/
- [5] Тельнов Ю.Ф. и др. Выбор типа бизнес-модели для реализации стратегии цифровой трансформации сетевого предприятия // Бизнес-информатика, Т.16, №4. С. 50-66.
- [6] Young-Min Baek, Jiyoung Song, Yong-Jun Shin, Sumin Park, Doo-Hwan Bae. 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
- [7] DDD - Domain driven design URL: <https://simpleone.ru/glossary/domain-driven-design>
- [8] SeBok v.2.11, 2024 URL: <http://sewiki.ru/SEBok>
- [9] SWEBok URL: <https://xn-dtbaacat8bfloi8h.xn-p1ai/swebok-software-requirements-ieee-guide-software-engineering>
- [10] Babok Руководство к своду знаний по бизнес-анализу®. Версия 3.0 <https://www.labirint.ru/books/837556/>
- [11] ГОСТ Р 59194-2020 Управление требованиями <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=12&month=12&year=2020&search=&id=239265>
- [12] OGDП Digital Practitioner Body of Knowledge™ Community Edition <https://theopengroup.gitlab.io/dpbok-community-edition/html/DPBoK-CE.html>
- [13] OGOAA Open Agile Architecture URL: <https://pubs.opengroup.org/architecture/o-aa-standard-single/>
- [14] [TOGAF Standard 2018] The TOGAF® Version 9.2, a standard of The Open Group (C182), April 2018, published by The Open Group; refer to: URL: <https://www.opengroup.org/library/c182>
- [15] ГОСТ Р 57100-2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 [ISO/IEC/IEEE 42010:2011] Системная и программная инженерия ОПИСАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ Systems and software engineering. Architecture description URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139542>
- [16] MongoDB and Postgres integration with Django URL: <https://github.com/PyloStuff/django-mongodb-postgres>
- [17] Achieving Measurable Business Results with SAFe URL: <https://www.scaledagile.com/about/about-us/permissions-faq/> <https://framework.scaledagile.com/>
- [18] Advanced case management URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_case_management
- [19] Deep learning & Machine learning: в чем разница? URL: <https://datastart.ru/blog/read/deep-learning-machine-learning-v-chem-raznica>
- [20] Немного про Grok-2 URL: <https://habr.com/ru/companies/bothub/articles/852506/>
- [21] Google представила Gemini 2.0 Flash Thinking URL: <https://habr.com/ru/companies/bothub/news/869370/>
- [22] DeepSeek <https://www.deepseek.com/>
- [23] OpenAI URL: <https://openai.com>