

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 004

### **ФОРМАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ МЕТРИК ОПИСАНИЯ ЕЕ КОМПОНЕНТОВ**

**В. В. Мартынов**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ЭИ ФГБОУ ВО УГАТУ, Уфа, Россия;  
orcid.org/0000-0002-8562-9267, e-mail: vvmartynov@bk.ru

**А. И. Салимова**, аспирант кафедры ЭИ ФГБОУ ВО УГАТУ, Уфа, Россия;  
orcid.org/0000-0002-5227-1676, e-mail: alina.khanova@gmail.com

**Д. Н. Шавалеева**, аспирант кафедры ЭИ ФГБОУ ВО УГАТУ, Уфа, Россия;  
orcid.org/0000-0002-3491-7576, e-mail: diana.krasnikova@gmail.com

*Рассматриваются вопросы формирования рациональной архитектуры предприятия (АП). Анализируется описание существующих подходов к созданию структуры АП, которые в свою очередь направлены на разработку моделей и последующих решений по реализации, но не имеют строгого формального метрического представления. Предлагаются формальные основы, которые позволяют производить сравнение разных вариантов архитектуры предприятия и осуществлять выбор из них рационального решения по заданным параметрам. На основе выявленных инвариантных аспектов в каждом из подходов предлагается комплекс метрик для описания архитектуры предприятия. С помощью теории множеств архитектура предприятия представляется в виде кортежа из 8 элементов, в состав которого входят наборы требований, бизнес-процессов, бизнес-систем, элементов данных, приложений, технологий, ограничений и бизнес-правил, а также набор показателей и их значений. Определен набор основных компонентов архитектуры предприятия и заданы показатели для их математического описания. В перспективе планируется разработка набора инвариантных параметров, содержащихся в нескольких методологиях, с целью проведения анализа и поиска компромиссных решений измерения АП.*

**Ключевые слова:** архитектура предприятия, информационная архитектура предприятия, метрики, проектирование, бизнес-процессы, бизнес-системы, архитектурные представления, цифровая трансформация.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2019-70-52-64

#### **Введение**

В настоящее время корпоративные архитекторы, федеральные агентства, промышленные и бизнес-секторы сталкиваются с разнообразием и огромным масштабом проблем, связанных с проектированием и оценкой архитектуры предприятия. Корпоративные архитектуры характеризуются крупномасштабными, географически распределенными системами с богатым наследием, ориентированными на бизнес-процессы, которые должны удовлетворять широкому спектру функциональных требований и требований к производительности при ограниченном финансировании. Проблема часто усугубляется существованием множества устаревших подсистем, которые выполняют критические функции на круглосуточной непрерывной основе (то есть 24x7), не могут просто «отключиться» и быть заменены на новые элементы архитектуры неделями или месяцами позже.

Целью создания архитектуры предприятия является построение каркасной структуры, определяющей предложенные архитектурные представления, описывающей отношения

между ними и включающей описание того, как эти представления могут выглядеть, на основе системного подхода [1]. Сейчас это сводится к оптимизации зачастую фрагментированного наследия процессов (как ручных, так и автоматизированных) в интегрированную среду, которая оперативно реагирует на изменения внешней среды и внутренних перестановок, при этом способствуя достижению заданной бизнес-стратегии [2].

Существует множество проблемных вопросов для решения задачи определения, проектирования и измерения архитектуры:

- архитектура крупномасштабных предприятий функционально сложна, проектирование проходит в течение долгого времени (годами), архитектуру трудно оценить из-за меняющихся требований, сложных бизнес-процессов, большого количества распределенных систем, возникающих новых технологий и бизнес-парадигм;

- задача, стоящая перед проектированием и оценкой архитектуры для очень больших предприятий, должна быть решена в условиях отсутствия полного набора концепций, согласованных инструментов моделирования, а также установленных принципов проектирования;

- существующие эталонные модели для АП состоят из нескольких представлений (в основном текстовых и графических) и моделей, которые зачастую интегрированы лишь в композицию своего представления, хотя на самом деле полная интеграция не достигнута. Например, бизнес-процессы и системные требования все также сложно объединить.

Основная цель данного исследования – обосновать и выбрать набор метрик для оценки эффективности компонентов, составляющих АП, а также разработать концепцию и основы для анализа взаимосвязи между представлениями АП. В дальнейшем необходимо разработать набор инвариантных показателей, которые содержатся в нескольких архитектурных представлениях, для использования в проведении анализа компромиссных решений оценивания АП.

### **Существующие методики описания и построения архитектуры предприятия**

Наиболее часто используемые модели описания и построения архитектуры предприятия содержат определенные преимущества, которые позволяют лучше решить исследователем задачу построения рациональной АП, однако ни один из данных методов не позволяет решить ее без существенных недостатков. Ни одна из методик не предполагает математической формализации процесса построения архитектуры предприятия [1]. Поэтому разрабатываемые решения нельзя назвать даже рациональными.

В настоящий момент существует несколько наиболее популярных эталонных архитектур и фреймворков в использовании. Хотя они могут пересекаться в нескольких измерениях или рассматривать аналогичные представления, данные модели все же были разработаны для решения конкретных проблем или определенных предметных областей. Различия существующих фреймворков заключаются в заинтересованных сторонах, для которых они были созданы, и в задачах, которые являются приоритетными в выбранной области. Данные ключевые моменты или «строительные блоки» ложатся в основу методов, формируют общий словарный запас, стандарты [2] и инструментарий, который является средством реализации и интегрирования указанных блоков. Более того, заинтересованным сторонам и подкатегориям каждой из них зачастую требуется придерживаться определенных протоколов.

Большинство фреймворков построения АП имеют свои особенности с точки зрения подхода к задаче и уровня детализации моделей. В одних методологиях представлены лишь руководящие принципы, в то время как другие предлагают конкретные методологии и аспекты для строгого соответствия. Большая часть фреймворков является абстрактной в связи с общностью их терминов. На основании этого можно поставить под сомнение возможность создания одинаковой АП в разных фреймворках. Структура Захмана [2] является наиболее полной среди изученных благодаря использованию шести точек зрения, связанных с различными заинтересованными сторонами. Остальные же фреймворки разработаны лишь для нескольких точек зрения и узко специализированы.

АП с момента появления служила не только концепцией, но и прикладным инструментом решения задач в конкретных проектах. Применение данной концепции все чаще встречается в случаях решения управленческих задач.

Анализ существующих методов и моделей описания и представления АП позволил выделить инвариантные аспекты в описании архитектуры: раздел «Бизнес-процессы»; раздел «Бизнес-системы»; раздел «Данные»; раздел «Приложения»; раздел «Технологии».

Таким образом, существующие подходы к созданию структуры АП направлены на разработку моделей и соответствующих решений по их реализации, в них присутствуют инвариантные аспекты, не имеющие строгого формального метрического представления. В результате «традиционные» фреймворки для проектирования и оценки крупномасштабной архитектуры не дают гарантии оптимального решения и зачастую требуют дорогостоящих и повторяющихся действий при построении АП.

### Формализация процесса построения АП

Несмотря на то, что в настоящее время существуют подходы и методы разработки архитектуры предприятия, имеется ряд недостатков, влияющих на эффективность их практического применения. Одной из слабых сторон в этой области знаний являются, на наш взгляд, недостаточная проработка и низкий уровень формализованности методов планирования перехода от настоящего состояния архитектуры предприятия к планируемому.

За основу для выбора метрик будет взята модель Захмана как наиболее универсальная. Использование данной модели не ограничивает общности исследований, т.к. все модели имеют инвариантные аспекты архитектуры.

Суть модели сводится к формализованному представлению предприятия в виде матрицы, которая показана в таблице 1.

**Таблица 1 – Уровни представления и разделы обеспечения системы согласно модели Захмана**  
**Table 1 – Presentation Levels and System Support Sections According to Zachman Model**

Виды моделей и их реализация	Цели (почему?)	Люди (кто?)	Функции (как?)	Объекты-данные (что?)	Коммуникации (где?)	Время события (когда?)
Укрупненная модель организации	Список целей и задач	Список подразделений	Список процессов	Список сущностей	Список узлов	Список основных событий
Концептуальная модель организации	Стратегическая модель: цель – стратегия	Структурные модели: подразделения – работа	Функциональные модели: процесс – ресурс	Информационно-логические модели	Модель топологии узлов	Модель корпоративных событий
Системная модель ИС	Критерии достижения целей	Роли персонала	Диаграммы потоков данных	Логическая модель данных	Логическая модель сетей организации	Модель системных событий
Технологическая модель	Модель «состояние-действие»	Модель интерфейса	Модель приложений	Модель внутреннего представления	Физическая модель коммуникаций	Модель технических событий
Компоненты	Шаг/задача	Пользователь – транзакция	Программные модули	Базы данных	Протоколы	Компонентные события
Функционирующая система	Варианты исполнения	Сеансы работы	Процедуры	Ограничения целостности	Клиент – сервер	Операционные события

Архитектурное представление – это ячейка таблицы, соответствующая пересечению выбранного столбца и выбранной строки. Например, с точки зрения разработчика (технологическая модель), информационное архитектурное представление (данные) – это проект структуры данных. Взгляд определенного участника процесса построения АП – это совокупность ячеек в пределах одной строки (точки зрения), то есть совокупность архитектурных представлений с выбранной точки зрения, соответствующая выбранным аспектам системы.

В связи с тем, что разработчиками архитектуры предприятия обычно выступает значительное количество людей, специализирующихся в разных областях знаний, предприятие, согласно этой концепции, рассматривается с разных точек зрения (имеет различные представления) и с различной степенью детализации (на разных уровнях абстракции). Далее предприятие будет декомпозировано на ряд представлений, в качестве которых выбраны инвариантные аспекты, определенные выше в результате анализа различных моделей АП. Каждый из аспектов будет подвергнут математическому описанию.

**Архитектурное представление «Бизнес-процессы».** Как правило, в организации осуществляется более сотни бизнес-процессов, каждый из которых состоит из 5-10 подпроцессов.

Предположим, что по мере развития АП по целям и содержанию будут существовать типы бизнес-процессов, которые считаются базовыми для всех или большинства корпоративных архитектур и которые, как таковые, служат сервером как «строительные блоки» части архитектуры, что Захман называл архитектурным срезом бизнес-процессов [3]. Пусть компоненты архитектурного представления бизнес-процессов будут выглядеть следующим образом:

$X_1$  : среднее количество бизнес-процессов для каждого подразделения;

$X_2$  : среднее количество видов деятельности в бизнес-процессе;

$X_3$  : количество бизнес-подразделений.

Предлагается следующая метрика для оценивания структурного объема и сложности архитектурного вида «Бизнес-процессы»:

$$Q_B = \ln(X_1 X_2 X_3^2),$$

$$M_B = 1 - e^{\frac{-Q_B}{R_B}}. \quad (1)$$

Натуральный логарифм в первом выражении позволяет компактно представить широкий диапазон значений. Там, где исходное значение увеличивается кратно (геометрическая прогрессия), логарифм изменяется на единицы (арифметическая прогрессия). Величина  $Q_B$  является параметром для метрики  $M_B$ ,  $R_B$  – эталонный параметр, необходимый для «привязки» полученного значения. Значение эталонного параметра определяется при помощи эталонной модели TOGAF [4]. Форма метрики  $M_B$  – это совокупное распределение для экспоненциальной случайной величины. Переменная  $X_3$  рассматривается здесь как более значимая, чем другие переменные, и соответственно ее значение повышено до степени 2. В нашем случае желательным свойством каждой функции кумулятивного распределения является нахождение метрик в интервале  $[0, 1]$ , поэтому все метрические значения будут содержаться в этом диапазоне.

Таким образом, метрика для архитектурного представления «Бизнес-процессы» может быть определена с использованием выражений (1).

**Архитектурное представление «Бизнес-системы».** Бизнес-системы предоставляют услуги, необходимые для осуществления деятельности, требуемой в рамках бизнес-процессов, и часто для одного вида деятельности требуются услуги нескольких бизнес-систем. В соответствии с моделью Захмана (таблица 1), определение бизнес-процессов начинается с формирования списка процессов. На данном уровне моделирования не понятно, как приступить к созданию новых бизнес-систем: заменить или модифицировать существующие.

Должны ли эти бизнес-системы ( $S_A, S_B, S_C$ ), как показано на рисунке 1, функционировать на двух, трех или большем количестве уровней в иерархическом дереве бизнес-систем. В данном случае  $S_1 - S_9$  представляют собой подсистемы, которые находятся на уровень ниже бизнес-систем ( $S_A, S_B, S_C$ ).

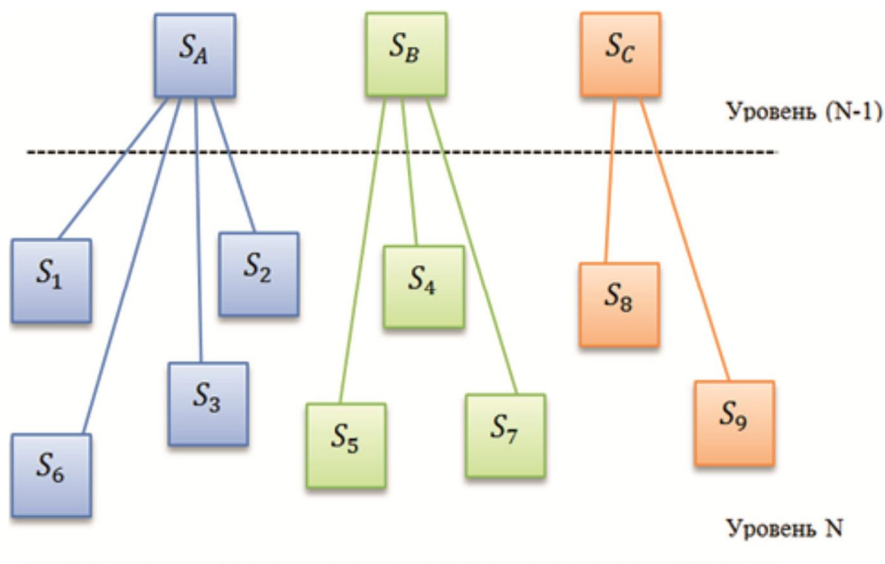


Рисунок 1 – Иерархические деревья бизнес-систем  
Figure 1 – Hierarchical trees of business systems

Процесс проектирования также усложняется тем, что количество интерфейсов между системами может экспоненциально возрастать, как показано на рисунке 2. В данном случае между подсистемами установлено гораздо больше связей, чем это было на рисунке 1. По этой причине количество предлагаемых бизнес-систем должно быть достаточно разнообразным [3], чтобы предоставлять необходимые услуги, но не переходить черту возможного управления набором интерфейсов.

Компоненты архитектурного представления «Бизнес-системы» будут выглядеть следующим образом:

$Y_1$  : количество уровней декомпозиции в иерархических деревьях бизнес-систем;

$Y_2$  : количество бизнес-систем на уровне 1;

$Y_3$  : количество бизнес-систем на уровне 2;

$Y_4$  : количество бизнес-систем на уровне 3;

$Y_5$  : количество типов интерфейсов;

$Y_6$  : количество интерфейсов на уровне 1;

$Y_7$  : количество интерфейсов на уровне 2;

$Y_8$  : количество интерфейсов на уровне 3.

По аналогии с (1) предложена следующая метрика для оценки структурного объема и сложности разреза бизнес-систем:

$$Q_S = \ln(Y_1^2 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5 Y_6 Y_7 Y_8),$$

$$M_S = 1 - e^{\frac{-Q_S}{R_S}}. \quad (2)$$

В данной ситуации переменные  $Y_1$  и  $Y_5$  рассматриваются как более значимые, для чего возводятся во вторую степень.  $Q_S$  является параметром для метрики  $M_S$ ,  $R_S$  является эталонным параметром, необходимым для «привязки» полученного метрического значения, а

форма метрики  $M_S$  – это совокупное распределение для экспоненциальной случайной величины.

Таким образом, метрика для архитектурного представления «Бизнес-системы» может быть определена с использованием выражений (2).

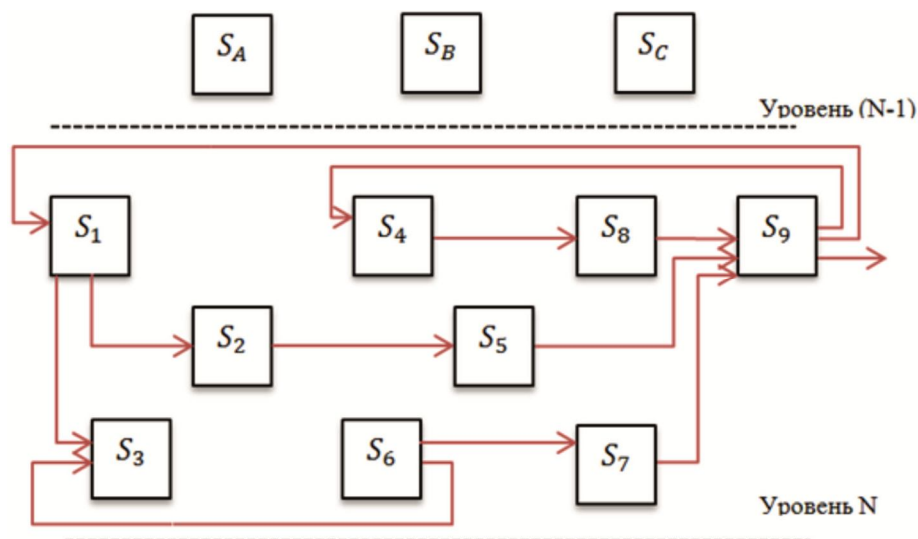


Рисунок 2 – Интерфейсы бизнес-систем внутри и между иерархическими уровнями  
Figure 2 – Interfaces of business systems within and between hierarchical levels

**Архитектурное представление «Данные».** Информационные потоки от одной бизнес-системы к другим бизнес-системам, а также часть информационного содержимого хранятся в виде элементов данных в базах данных [4].

Переменные в архитектурном представлении «Данные»:

$D_1$  : количество таблиц (т.е. объектов);

$D_2$  : количество элементов данных (то есть полей);

$D_3$  : виды связей между таблицами;

$D_4$  : количество баз данных.

По аналогии с (1) и (2) предлагаются следующие выражения для оценки структурного объема и сложности архитектурного представления «Данные»:

$$Q_D = \ln \left( \frac{D_1 D_2 D_3}{D_4} \right), \quad (3)$$

$$M_D = 1 - e^{-\frac{Q_D}{R_D}}.$$

Здесь предполагается, что переменная  $D_3$  более значима, чем другие переменные, поэтому аналогично подходу в (2), она возводится во вторую степень. Использование нескольких баз данных в этой метрике не предполагается, и соответственно  $D_4$  помещается в знаменатель.

Таким образом, метрика для архитектурного представления «Данные» может быть определена с использованием выражений (3).

**Архитектурное представление «Приложения».** Приложения представляют собой программную реализацию служб (то есть функциональные возможности), предоставляемую различными бизнес-системами. Как правило, бизнес-система включает в себя несколько приложений.

Переменные в архитектурном представлении приложений:

$A_1$  : количество приложений, которые управляют данными;

$A_2$  : количество приложений, поддерживающих операционные бизнес-системы;

$A_3$  : количество приложений, поддерживающих стратегические бизнес-системы;

$A_4$  : количество API для общих служб;

$A_5$  : количество строк пользовательского кода (в тысячах);

$A_6$  : количество строк кода COTS – commercial off-the-shelf (в тысячах).

Почти все программное обеспечение, приобретенное компьютерным пользователем, вписывается в категорию COTS: операционные системы, офисные продукты, текстовые редакторы и программы электронной почты относятся к числу бесчисленных примеров [5]. Одним из основных преимуществ программного обеспечения COTS, которое является массовым, является его относительно низкая стоимость.

Ниже приведены выражения для оценки структурного объема и сложности архитектурного представления «Приложения»:

$$Q_A = \ln(A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6),$$

$$M_A = 1 - e^{\frac{-Q_A}{R_A}}. \quad (4)$$

В данном случае переменные  $A_1 - A_6$  являются равнозначными,  $Q_A$  – параметр для метрики  $M_A$ ,  $R_A$  – эталонный параметр, необходимый для «привязки» полученного метрического значения, а метрика  $M_A$  – это совокупное распределение для экспоненциальной случайной величины.

Таким образом, метрика  $M_A$  для архитектурного разреза «Приложения» может быть определена с использованием выражений (4).

**Архитектурное представление «Технологии».** Данное представление состоит из физических продуктов, позволяющих передавать информацию из одной бизнес-системы в другую. Переменными в технологическом архитектурном представлении выступают [6-10]:

$T_1$  : количество платформ класса 1;

$T_2$  : количество платформ класса 2;

$T_3$  : количество маршрутизаторов;

$T_4$  : количество MIPS / CPU;

$T_5$  : MB RAM;

$T_6$  : ГБ дискового пространства;

$T_7$  : количество портов ввода / вывода сети;

$T_8$  : скорость передачи данных в сети, в миллион бит в секунду (Мбит / с);

$K = 1$ , если один сайт;

$= 2$ , если есть доступ к внутреннему сайту для восстановления после сбоя;

$= 3$ , если доступны перехват и восстановление внутри сайта и между сайтами (первичные и резервные сайты).

Предлагаются следующие выражения для оценки структурного объема и сложности технологического архитектурного среза:

$$Q_T = \ln(T_1 T_2 T_3 T_4 T_5 T_6 T_8),$$

$$M_T = 1 - e^{\frac{-Q_T}{R_T}}. \quad (5)$$

В данных выражениях  $T_7$  как менее значимая переменная была представлена в знаменателе.

Таким образом, метрика для архитектурного представления «Технологии» может быть определена с использованием выражений (5).

## Методика представления и сравнения вариантов архитектуры предприятия

### Пример реализации

В качестве инструмента реализации стратегии оптимизации АП предлагается использовать комбинацию трех подходов менеджмента: сбалансированную систему показателей (Balanced Scorecard, BSC), теорию ограничений (Theory of constraints, TOC) и всеобщий менеджмент качества (Total Quality Management, TQM) [5]. Основным используемым подходом является сбалансированная система показателей, а теория ограничений и всеобщий менеджмент качества используются для устранения недостатков, присущих классической сбалансированной системе BSC.

Для решения проблем при построении архитектуры предприятия можно сделать следующие замечания.

1. Выделены основные уровни абстракции, проектирование которых затрагивается при поиске путей эффективного использования информационных технологий на предприятии путем построения и исследования модели архитектуры предприятия. Определены ключевые моменты, на которые следует обратить внимание при анализе существующих методов.

2. Наиболее часто используемые методики описания и построения архитектуры предприятия обладают как преимуществами, так и недостатками, при этом каждый подход содержит определенное преимущество, которое позволяет лучше решить исследователем конкретную задачу или ряд однотипных задач, однако ни один из данных подходов не позволяет решить ее без существенных недостатков, сужающих область применения данной методики.

Предложив основные черты пяти архитектурных срезов (Бизнес-процессы, Бизнес-системы, Данные, Технологии и Приложения) и дополнив их требованиями, технологией и метриками, определим архитектуру предприятия как 8-разрядный кортеж:

$$EA = \{R, B, S, D, A, T, C, M\},$$

где  $R = (r_1, r_2, r_3, \dots, r_n)$  – набор системных требований;  $B = (b_1, b_2, b_3, \dots, b_p)$  – набор бизнес-процессов;  $S = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_q)$  – набор бизнес-систем;  $D = (d_1, d_2, d_3, \dots, d_g)$  – набор элементов данных;  $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_k)$  – набор приложений;  $T = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_w)$  – набор элементов технологического архитектурного представления;  $C = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_h)$  – набор ресурсных ограничений и правил проектирования;  $M = (M_B, M_S, M_D, M_A, M_T)$  – набор метрик, которые были получены из (1) – (5).

Для построения рациональной АП каждый из перечисленных выше элементов будет определен, чтобы составить методологию с инструкциями для создания архитектуры предприятия любой командой разработчиков [12]. То есть каждый бизнес-процесс будет подробно излагаться со всеми видами деятельности, которые составляют каждый бизнес-процесс; каждая бизнес-система будет описываться с точки зрения предоставляемых ею услуг и бизнес-процессов, поддерживаемых этими службами; каждая таблица данных будет описана с точки зрения содержимого элементов данных и того, как она относится к другим таблицам данных, и так далее. Кроме того, набор ограничений будет документировать руководящие принципы и правила для распределения ресурсов обработки по организационным, географическим, бизнес-и маркетинговым границам, а также инструкции о том, как взаимодействовать с различными архитектурными компонентами.

Первоначально на этапе концептуального проектирования проектное пространство  $\{X_1, X_2, X_3, \dots, t_1, t_2, t_3, t_4\}$  очень велико и не имеет четкого определения. По мере того, как разработка переходит на логический и физический этап, проектное пространство становится меньше, т.к. компоненты модели АП к тому моменту конкретизируются [13].

Для иллюстрации сделанных в статье предложений рассмотрим простой пример анализа трех вариантов архитектуры предприятия. Архитектура А является «средней» по всем четырем архитектурным видам и служит здесь как точка отсчета для двух других архитектур. Ар-

хитектура В представляет собой архитектуру с «плоской» бизнес-иерархией (только 2 уровня); имеет несколько баз данных вместо единой центральной базы данных и не имеет альтернативного сайта для восстановления системы. Архитектура С современна по своим деловым и технологическим возможностям: с «высокой» бизнес-иерархией со специализированными типами интерфейсов, одной центральной базой данных, небольшим набором элементов данных, распределенных по небольшому числу таблиц и имеет альтернативный сайт для отказоустойчивости системы. В этом примере использовался вектор значений безразмерных эталонных параметров (10, 30, 10, 20, 30) для вычисления значений бизнес-показателей архитектурных представлений бизнес-процессов, бизнес-систем, данных, приложений и технологий соответственно (1) – (5); результирующие метрические значения для всех трех архитектур основаны на одном и том же значении вектора параметров. Перечень архитектурных компонентов и расчетных показателей для этих трех архитектур представлен в таблице 2.

**Таблица 2 – Вычисление метрик для архитектур А,В,С**

**Table 2 – Calculation of metrics for architectures A, B, C**

Архитектурный срез	Архитектурный компонент	А	В	С
Бизнес-процессы	X1	5	33	99
	X2	6	3	5
	X3	4	4	15
	Rb	10	10	10
	Qb	6,17	7,37	11,62
	Mb	0,46	0,52	0,69
Бизнес-системы	Y1	3	2	6
	Y2	3	24	3
	Y3	9	76	56
	Y4	30	215	77
	Y5	5	5	15
	Y6	10	72	72
	Y7	30	202	310
	Y8	50	437	403
	Rs	30	30	30
	Qs	21,73	33,15	35,31
	Ms	0,52	0,67	0,69
Данные	D1	27	255	47
	D2	216	341	276
	D3	5	8	16
	D4	8	209	4
	Rd	10	10	10
	Qd	9,81	10,19	13,63
	Md	0,63	0,64	0,74
Приложения	A1	24	14	10
	A2	13	26	18
	A3	7	23	6
	A4	1	12	5
	A5	6	45	55
	A6	14	80	61
	Ra	20	20	20
	Qa	12,12	22,19	9,48
Ma	0,45	0,67	0,38	

Архитектурный срез	Архитектурный компонент	А	В	С
Технологии	T1	19	14	12
	T2	12	8	6
	T3	3	4	4
	T4	2	3	1
	T5	600	800	600
	T6	550	650	650
	T7	185	150	220
	T8	25	45	100
	K	1	2	3
	Rt	30	30	30
	Qt	17,93	38,32	53,25
	Mt	0,45	0,72	0,83

Соответственно вычисленный метрический вектор для каждой из трех архитектур выглядит следующим образом:

А (0,46, 0,52, 0,63, 0,45, 0,45); В (0,52, 0,67, 0,64, 0,67, 0,72); С (0,69, 0,69, 0,74, 0,38, 0,83).

Большая структурная сложность архитектуры С по сравнению с архитектурой А теперь отражается в ее более высоких метрических значениях. Например, для архитектуры С только одна метрика, имеющая значение 0,38, меньше аналогичной, имеющей значение 0,45, для архитектуры А. Из этого примера видно, что разработчики архитектуры и специалисты-практики могут принять набор эталонных параметров (то есть вектор из значений), шкалу измерения (т.е. совокупное экспоненциальное распределение в нашем примере) и набор «стандартов для хранилища архитектуры». Это может помочь не только в представлении архитектуры, но и в отношении оценки и сопоставления архитектуры в разных областях [14 – 18]. Однако на каждой фазе жизненного цикла существуют все пять архитектурных представлений (т.е. архитектурные срезы «Бизнес-процессы», «Бизнес-системы», «Данные», «Приложения» и «Технологии»), так что каждый архитектурный вид представляет собой подмножество самого пространства принятия решений.

Представление архитектурных срезов в пространстве решений проиллюстрировано на рисунке 3, содержащем три переменных проектирования  $\{X \in (X_1, X_2, X_3)\}$ . Само пространство проектирования ограничено и определяется набором ограничений и взаимосвязей между этими тремя переменными, которые называются границей проектного пространства.

Архитектурная плоскость А,  $(X_1^A, X_2^A, X_3^A)$ , отмеченная на рисунке 3, является «срезом» конструктивного пространства, так что она параллельна плоскости  $X_2$ - $X_3$  и находится на расстоянии  $X_1^A$  от этой плоскости. Архитектурная плоскость В  $(X_1^B, X_2^B, X_3^B)$ , также представляет срез проектного пространства, так что является параллельной плоскости  $X_1$ - $X_2$  и находится на расстоянии  $X_3^B$  от этой плоскости. Далее, мы будем рассматривать  $X_3^B$  как архитектурный проект А в архитектурной плоскости А и на самой границе проектного пространства, а также в точке проектирования В,  $(X_1^B, X_2^B) \in (X_1^B, X_2^B, X_3^B)$  – архитектурный вид В в архитектурной плоскости В и на самой границе проектного пространства. Кроме того, пусть проектная точка С,  $(X_1^C, X_2^C, X_3^C)$ , на пересечении архитектурной плоскости А, архитектурной плоскости В и границы проектного пространства. Эта точка называется согласованным архитектурным дизайном, поскольку здесь архитектурный проектный вид А и архитектурный проект В поддерживают друг друга, то есть два архитектурных вида относятся к одной точке на границе пространства проектирования [19, 20].

По мере того, как процесс разработки развивается до фазы логического и физического проектирования, архитектурные представления являются все более и более поддерживающими друг друга и в конечном итоге становятся действительно подмножествами одной и той же точки проектирования.

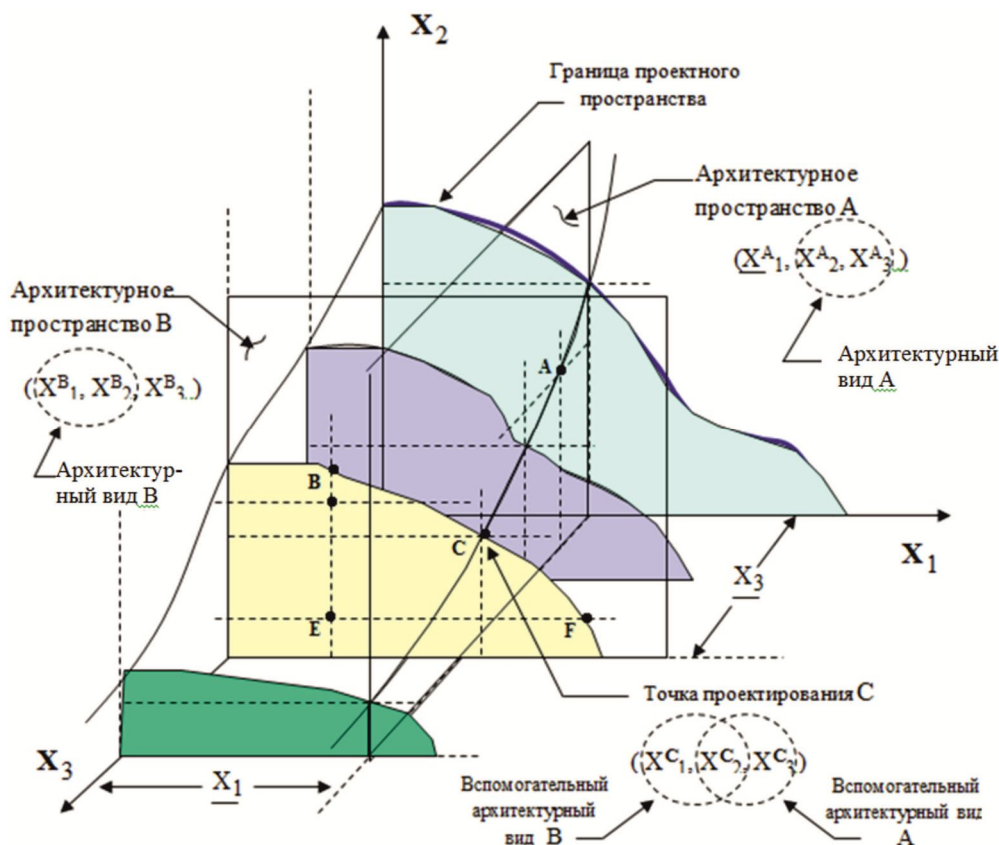


Рисунок 3 – Проектное пространство и несколько архитектурных представлений, 3-D модель  
Figure 3 – Project space and several architectural views, 3-D model

### Заключение

В данной работе показано, что существует потребность в разнообразных предложениях для архитектурных представлений, которые могут вносить вклад в формирование «стандартов», включая атрибуты архитектуры, их определение и измерение, т. е. метрические формы и шкалы.

Также есть потребность в архитектурных репозиториях, которые используют один и тот же набор стандартов для организации, хранения и извлечения знаний о корпоративной архитектуре.

Новизна проведенных исследований заключается в том, что дана характеристика критериев оценки спроектированной архитектуры предприятия. Сформулированы ключевые критерии содержательной оценки ИТ-ресурсов, которые могут быть использованы разработчиками в процессе разработки ИТ-архитектуры, что, в свою очередь, позволит повысить эффективность деятельности компании. На основе сравнительного анализа и изучения документных источников разработана модель архитектуры предприятия в виде метрик, вычисленных для каждого архитектурного представления.

Значимость исследования заключена в создании комплексной методики оценки методологий построения оптимальной архитектуры и в том, что разработанная модель оценки архитектуры может служить основой для работ по повышению эффективности деятельности предприятий любой отрасли.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Башкортостан в рамках научного проекта № 19-410-020018 «Разработка базовых принципов стратегического социально-экономического развития предприятий Республики Башкортостан на основе моделирования оптимальной архитектуры организаций цифровой экономики».*

## Библиографический список

1. **Martynov V. V., Salimova A. I.** The approach to construction information enterprise architecture // Proceedings of the Workshop on CSIT'12, Russia, Ufa-Hamburg-Norwegian Fjords, September 20-26, 2012, vol. 2 USATU.
2. **Goicoechea A.** Architectures and Digital Administration, Planning, Design, and Assessment, 2007. 516 p.
3. **Lohe J., Legner C.** Overcoming Implementation Challenges in Enterprise Architecture Management: A Design Theory for Architecture-Driven IT Management (ADRIMA). Information Systems and e-Business Management (12:1). 2004, pp. 101-137.
4. **Frank U.** Towards a Pluralistic Conception of Research Methods in Information Systems Research. ICB Research Report, no. 7, Universität Duisburg-Essen, 2006. 69 p.
5. **Мартынов В. В., Султанова С. Н.** Архитектура предприятия: Электр. Издание. Учебное пособие. Уфа: УГАТУ, 2015. 160 с. Рег. св-во в Информрегистре № 0321601157 от 09.06.2016. 160 с.
6. **Labusch N., Aier S., Rothenberger M. A., Winter R.** Architectural Support of Winter K., Buckl S., Matthes F., and Schweda C. M. «Investigating the State-of-the-Art in Enterprise Architecture Management Methods in Literature and Practice». Proceedings of the 4th Mediterranean Conference on Information Systems, Tel Aviv, Israel: Association for Information Systems. 2014.
7. **Kotusev S.** «Enterprise Architecture: A Reconceptualization Is Needed», Pacific Asia Journal of the Association for Information Systems, 10(4). 2018, pp. 1-36.
8. **Wagter R., Proper H.A.(E.), Witte D.** A Practice-Based Framework For Enterprise Coherence. Working Conference on Practice-Driven Research on Enterprise Transformation. Springer: Berlin Heidelberg. 2012, pp. 77-95.
9. **Rivera R.** «The PRISM Architecture Framework – Was It the Very First Enterprise Architecture Framework?», Journal of Enterprise Architecture, 9(4). 2014, pp. 14-18.
10. **Simon D., Fischbach K., Schoder D.** Enterprise architecture management and its role in corporate strategic management. Information Systems and e-Business Management 12 (1), 2014, pp. 5-42.
11. **Кудрявцев Д. В., Арзумян М. Ю., Григорьев Л. Ю.** Технологии бизнес-инжиниринга. СПб.: Издательство Политехнического университета. 2014.
12. **Смирнов М. В.** Вариативность архитектуры предприятия. [Электронный ресурс]. <https://mxsmirnov.com/2017/03/15/ea-palette/> (дата обращения: 13.05.2018).
13. **Vitaliy V. Martynov, Diana N. Shavaleeva, Alina I. Salimova.** Designing Optimal Enterprise Architecture for Digital Industry: State and Prospects. 2018 Global Smart Industry Conference (GloSIC).
14. **Nick Malik.** Climbing the Ladder: 5 Steps to Connect EA to Strategy. Business & Enterprise Architecture, Business Technology & Digital Transformation Strategies. 2017, pp. 47-52.
15. **Александр Данилин, Андрей Слюсаренко** Архитектура и стратегия. «Инь» и «янь» информационных технологий. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2013, 504 с.
16. **Balaji Prasad.** A Mandate for a Meta-Architect. Business&EnterpriseArchitecture. 2016, pp. 89-94.

UDC 658.51

## FORMALISM OF ENTERPRISE ARCHITECTURE DESIGN IN TERMS OF SET THEORY

**V. V. Martynov**, Ph.D. (Tech.), full professor, Head of the Department, USATU, Ufa, Russia; [orcid.org/0000-0002-8562-9267](https://orcid.org/0000-0002-8562-9267), e-mail: [vmartynov@bk.ru](mailto:vmartynov@bk.ru)  
**A. I. Salimova**, post-graduate student, USATU, Ufa, Russia; [orcid.org/0000-0002-5227-1676](https://orcid.org/0000-0002-5227-1676), e-mail: [alina.khanova@gmail.com](mailto:alina.khanova@gmail.com)  
**D. N. Shavaleeva**, post-graduate student, USATU, Ufa, Russia; [orcid.org/0000-0002-3491-7576](https://orcid.org/0000-0002-3491-7576), e-mail: [diana.krasnikova@gmail.com](mailto:diana.krasnikova@gmail.com)

*The article deals with the formation of rational enterprise architecture. The description of existing approaches to the creation of EA structures, which, in turn, are aimed at the development of models and ap-*

appropriate solutions for implementation, but have no strict formal metric representation, is presented. The complex of metrics to describe and measure enterprise architecture is offered. With the help of set theory, enterprise architecture is represented as a tuple of 8 elements, which includes sets of requirements, business processes, business systems, data elements, applications, technologies, constraints and business rules, as well as a set of indicators and their values. The set of main components of enterprise architecture is defined and indicators of their measurement are set. The introduced formal bases allow us to compare different variants of enterprise architecture as well as to make a rational choice according to certain criteria. In perspective, it is necessary to develop a set of invariant indicators being in several architectural representations, to be used in the analysis of compromise solutions for EA measurement.

**Key words:** Enterprise Architecture, EA, enterprise information architecture, metrics, measurement, design, representation, business processes, business systems, architectural views.

**DOI:** 10.21667/1995-4565-2019-70-52-64

### References

1. **Martynov V. V., Salimova A. I.** The approach to construction information enterprise architecture. *Proceedings of the Workshop on CSIT'12*, Russia, Ufa-Hamburg-Norwegian Fjords, September 20-26, 2012, vol. 2 USATU.
2. **Goicoechea A.** Architectures and Digital Administration. *Planning, Design, and Assessment*, 2007. 516 p.
3. **Lohe J., Legner C.** Overcoming Implementation Challenges in Enterprise Architecture Management: A Design Theory for Architecture-Driven IT Management (ADRIMA). *Information Systems and e-Business Management* (12:1). 2004, pp. 101-137.
4. **Frank U.** Towards a Pluralistic Conception of Research Methods in Information Systems Research. ICB Research Report, no. 7, Universität Duisburg-Essen, 2006. 69 p.
5. **Martynov V. V., Sultanova S. N.** Arhitektura predpriyatija: Jelektr. Izdanie. *Uchebnoe posobie*. Ufa: UGATU, 2015, 160 p. Reg. sv-vo v Informregistre no. 0321601157 ot 09.06.2016, 160 p. (In Russian).
6. **Labusch N., Aier S., Rothenberger M. A., Winter R.** Architectural Support of Winter K., Buckl S., Matthes F., and Schweda C. M. «Investigating the State-of-the-Art in Enterprise Architecture Management Methods in Literature and Practice». *Proceedings of the 4<sup>th</sup> Mediterranean Conference on Information Systems*, Tel Aviv, Israel: Association for Information Systems. 2014.
7. **Kotusev S.** Enterprise Architecture: A Reconceptualization Is Needed. *Pacific Asia Journal of the Association for Information Systems*, 10(4). 2018, pp. 1-36.
8. **Wagter R., Proper H.A.(E.), Witte D.** A Practice-Based Framework For Enterprise Coherence. *Working Conference on Practice-Driven Research on Enterprise Transformation*. Springer: Berlin Heidelberg. 2012, pp. 77-95.
9. **Rivera R.** The PRISM Architecture Framework – Was It the Very First Enterprise Architecture Framework? *Journal of Enterprise Architecture*, 9(4). 2014, pp. 14-18.
10. **Simon D., Fischbach K., Schoder D.** Enterprise architecture management and its role in corporate strategic management. *Information Systems and e-Business Management* 12 (1), 2014, pp. 5-42.
11. **Kudrjavcev D. V., Arzumanjan M. Ju., Grigor'ev L. Ju.** *Tehnologii biznes-inzhiniringa*. SPb.: Izdatel'stvo Politehnicheskogo universiteta. 2014. (In Russian).
12. **Smirnov M.** 2017. *Variativnost' arhitektury predpriyatija*. [Jelektronnyj resurs]. <https://mxsmirnov.com/2017/03/15/ea-palette/> (date of access: 13.05.2018). (In Russian).
13. **Vitaliy V. Martynov, Diana N. Shavaleeva, Alina I. Salimova.** Designing Optimal Enterprise Architecture for Digital Industry: State and Prospects. 2018 *Global Smart Industry Conference (GloSIC)*.
14. **Nick Malik.** Climbing the Ladder: 5 Steps to Connect EA to Strategy. *Business & Enterprise Architecture, Business Technology & Digital Transformation Strategies*. 2017, pp. 47-52.
15. **Aleksandr Danilin, Andrej Sljusarenko.** *Arhitektura i strategija*. «In» i «jan'» informacionnyh tehnologij. M.: Internet-Universitet Informacionnyh Tehnologij (INTUIT). 2013, 504 p. (In Russian).
16. **Balaji Prasad.** A Mandate for a Meta-Architect. *Business&Enterprise Architecture*. 2016, pp. 89-94.