

Преодоление дефицита выразительной способности языков моделирования бизнес-процессов¹

И.Г. Фёдоров

кандидат технических наук

доцент кафедры прикладных информационных технологий и информационной безопасности
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

Адрес: 119501, г. Москва, ул. Нежинская, д. 7

E-mail: Igor.Fiodorov@mail.ru

Аннотация

Я. Ванд и Р. Вебер предположили, что «онтологическое» качество языка моделирования, можно оценить путем сравнения алфавита этого языка с конструкциями предлагаемой ими онтологии верхнего уровня, получившей название Бунге-Ванда-Вебера (BWW). Одним из главных факторов успеха использования языка они называют его способность предоставить пользователям набор знаков (примитивов моделирования), которые могут непосредственно отображать соответствующие концепты (абстракции) онтологии. Однако онтология не сводится к тезаурусу, она также включает спецификацию структуры соответствующей проблемной области. Можно предположить, что язык моделирования должен быть способен передать эти связи. Таким образом, подход Я. Ванда и Р. Вебера можно существенно развить, если исследовать структурные связи между концептами онтологии BWW. В работе предпринята попытка расширить онтологию BWW применительно к моделированию бизнес-процессов. Добавлены трансформации, которые изменяют взаимные свойства, им соответствуют логические операторы процесса, изменена трактовка концепта событие, таким образом, что оно фиксирует момент времени, когда происходит изменение состояния внешнего объекта. Показано, что внешние события связаны с каждой операцией процесса. Тем самым добавлены понятия темпоральной логики: момент времени и интервал времени между двумя последовательными событиями. Исследование связей между концептами расширенной онтологии BWW позволило обосновать пять перспектив модели процесса и выделить формализмы, используемые для их описания: информационную — диаграмма «сущность — связь»; поведенческую — диаграмма состояний; трансформационную — диаграмма потоков данных; темпоральную — граф состояний; логическую — обычные сети Петри. Многочисленные исследования показывают, что языки и нотации моделирования процессов не способны отобразить сразу все концепты онтологической модели BWW, но только их часть. При этом авторы исследований концентрируют внимание на процентном соотношении моделируемых и не моделируемых концептов, подсчитывают относительную степень дефицита, избыточности, неоднозначности и неразличимости. Для преодоления дефицита в данной работе предлагается моделировать бизнес-процесс не в одной нотации, а в нескольких согласованных диаграммах, так, чтобы каждая раскрывала отдельные перспективы модели, а все вместе они образовывали согласованное интегрированное описание.

Ключевые слова: моделирование бизнес-процессов, онтологии Бунге-Ванда-Вебера, дефицит выразительной способности, перспективы модели процесса.

Цитирование: Fiodorov I.G. Overcoming expressiveness deficit of business process modeling languages // Business Informatics. 2016. No. 3 (37). P. 62–71. DOI: 10.17323/1998-0663.2016.3.62.71.

¹ Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России, в рамках базовой части государственного задания № 2014/122 шифр 2966.

Введение

Для моделирования бизнес-процессов используются разнообразные языки и нотации: UML [1], BPMN [2], EPC [3], ebXML [4], BPEL [5], Petri Nets [6], поэтому часто возникает вопрос о проведении их сравнительного анализа с целью выяснить, какой из них лучше подходит для решения той или иной задачи моделирования [7]. Я. Ванд и Р. Вебер предположили, что «онтологическое» качество языка моделирования, можно оценить путем сравнения алфавита этого языка с конструкциями предлагаемой ими онтологии верхнего уровня, получившей название Бунге-Ванда-Вебера (BWW) [8]. Одним из главных факторов успеха использования языка они называют его способность предоставить пользователям набор знаков (примитивов моделирования), которые могут непосредственно отображать соответствующие концепты (абстракции) онтологии. Они выделяют следующие варианты соответствия между алфавитом языка моделирования и концептами онтологии (рис. 1):

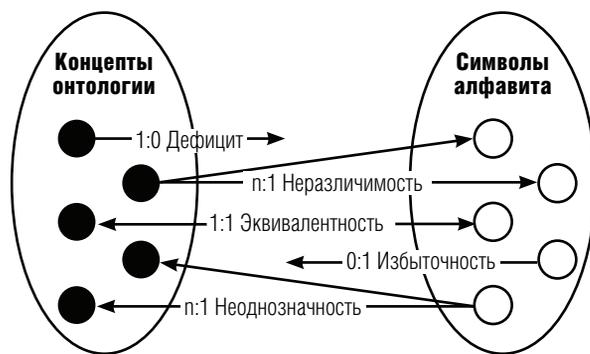


Рис. 1. Соотношение примитивов языка моделирования и концептов онтологии BWW

- ◆ эквивалентность: каждому знаку алфавита можно сопоставить ровно один концепт;
- ◆ дефицит выразительной способности: отдельные концепты не имеют соответствующего им знака алфавита;
- ◆ избыточность: концепт онтологии не может быть отображен ни в один знак нотации;
- ◆ неразличимость (омонимия) знаков языка моделирования: один концепт может быть отображен сразу в несколько знаков нотации;
- ◆ неоднозначность (синонимия): одному знаку соответствует несколько концептов.

Суть предлагаемого Я. Вандом и Р. Вебером подхода заключается в проверке изоморфизма двух множеств: знаков нотации и концептов онтологии. Исследования показывают, что все известные языки моделирования бизнес-процессов обладают дефицитом выразительности [9], так что преодоление этого дефицита является важной и актуальной задачей. Однако онтология не сводится к тезаурусу, она также включает спецификацию структуры соответствующей проблемной области [10]. Можно предположить, что язык моделирования должен быть способен передать эти связи. Таким образом, подход Я. Ванда и Р. Вебера можно существенно развить, если исследовать структурные связи между концептами онтологии BWW. В работе также предпринята попытка расширить онтологию BWW применительно к моделированию бизнес-процессов, поскольку в существующем виде она не позволяет отобразить логические операторы процесса и его темпоральные характеристики.

1. Расширенная онтологическая модель BWW

Предложенная Я. Вандом и Р. Вебером модель основывается на онтологии, предложенной М. Бунге [11]. Окружающий нас мир образован вещами, которые принято трактовать как «отдельный объект материального мира, обладающий относительной независимостью, объективностью и устойчивостью существования» [12], поэтому далее мы будем пользоваться термином «объект». Объект обладает свойствами, которые являются его атрибутами, так что свойство не может иметь свойств. Состояние объекта определяется как совокупность всех значений всех его атрибутов в заданный момент времени. При этом не все состояния рассматриваются как допустимые и не все переходы между состояниями считаются разрешенными [13]. Изменение состояния объекта происходит в результате трансформации, она осуществляется всегда по заранее определенному закону, называемому правилом преобразования. Трансформацию можно интерпретировать как работу, изменяющую объект, или как операцию, выполняемую над объектом.

Обратим внимание, что М. Бунге различает внутренние свойства объекта, присущие ему и отличающие один экземпляр объекта от другого, например, цвет или форма характеризуют каждый объект индивидуально, и взаимные свойства, которые характеризуют один объект относительно

другого, например, расстояние есть свойство пары объектов. Говоря про трансформацию, М. Бунге имеет в виду изменение внутренних свойств объекта. Мы будем трактовать трансформацию шире, рассматривать также изменение взаимных свойств. Например, операция процесса изменяет внутренние свойства объекта, а логический оператор ветвления на схеме процесса направляет объект по одному из нескольких маршрутов обработки, изменяя его положение относительно других объектов, при этом внутренние свойства объекта не изменяются. Таким образом, разделяя трансформации, которые изменяют внутренние свойства объекта и те, которые изменяют взаимные свойства, мы добавляем в онтологию возможности отобразить логические операции процесса [14].

Событием М. Бунге называет факт изменения состояния объекта, независимо от причины возникновения, при этом остается не вполне ясным, чем событие отличается от состояния. В его трактовке событие несет смысл «по причине этого» и отражает причинно-следственную связь: следующая трансформация может начаться в результате завершения предыдущей. Таким образом, термины состояние и событие оказались трудноразличимы. Предлагаемая нами трактовка события отличается от предложенной М. Бунге. Событие, по определению Е.А. Бабкина, это то, «что происходит в некоторый момент времени и рассматривается как изменение состояния некоторого объекта», он отождествляет событие с изменением, если оно происходит одномоментно, скачкообразно [15]. Ю.Н. Павловский понимает событие как момент времени, обозначающий смену состояний объекта [16]. Поэтому мы будем связывать событие с моментом времени, когда произошло изменение состояния некоторого объекта, оно имеет смысл «после этого» — позже в хронологическом порядке. Таким образом, внешнее событие фиксирует факт и момент времени, когда система перешла в очередное состояние и готова к исполнению следующей операции. Наступления внутреннего события недостаточно для начала исполнения очередной трансформации. Если ей соответствует интерактивная операция, то выполнение начнется после вмешательства исполнителя (он рассматривается как внешний объект по отношению к системе), а если операция автоматическая, то после сигнала от внешнего управляющего устройства. Таким образом, внешние события отражают факт изме-

нения состояния объекта, внешнего по отношению к системе, которое инициирует исполнение операции, оно фиксирует момент времени, когда началась трансформация. Тем самым в онтологию добавляется понятия темпоральной логики: момент времени и интервал времени между двумя последовательными событиями [14]. Интервал времени между наступлением внутреннего события, означающего готовность к началу обработки, и внешним событием, означающим реальное начало работ, будем трактовать как время ожидания начала исполнения, а интервал между внешним событием и внутренним, отражающим завершение операции, как время исполнения. Внешнее событие может не только инициировать выполнение операции процесса, но и прекратить ее. Например, клиент разместил заказ — это событие инициирует процесс, а если клиент отменил заказ, то дальнейшая обработка может оказаться нецелесообразной. Внешнее событие может свидетельствовать о возникновении нестандартной ситуации и потребовать специальной обработки. Таким образом, мы расширили онтологию BWW, добавили в нее трансформации, которые изменяют взаимные свойства объекта (им соответствуют логические операторы), изменили трактовку концепта событие таким образом, что оно фиксирует момент времени, когда происходит изменение состояния объекта, а также показали, что внешние события связаны с каждой операцией процесса.

Важный вывод, который можно сделать на основании анализа расширенной онтологии BWW, заключается в обосновании набора концептов. К их числу относятся (рис. 2):

- ◆ объект, подвергаемый обработке (он имеет внутреннюю структуру, описывающую набор присущих объекту свойств);
- ◆ трансформации, которые изменяют внутренние свойства объекта, что приводит к смене его состояния;
- ◆ трансформации, которые объект маршрутизируют, но не изменяют состояние;
- ◆ внутренние события, которые обозначают момент времени, когда объект готов к выполнению очередной операции;
- ◆ внешние события, которые обозначают момент времени, когда начинается выполнение очередной операции.

Теперь нам предстоит проанализировать связи между отдельными концептами онтологии.



Рис. 2. Основные концепты модели процесса

2. Структура онтологической модели BWV

Рассмотрим, какие формальные модели позволяют описать связи между отдельными концептами онтологии BWV. Полученная нами онтологическая модель включает шесть концептов, соответственно, следует рассмотреть граф, имеющий вершины шести типов. В этом графе (рисунк 3) множества вершин разных типов не пересекаются, нет дуг, соединяющих вершины одного типа – его можно классифицировать как шестидольный. Обратим внимание, что множества вершин связаны только попарно: состояние с событием, событие с трансформацией, трансформация с состоянием. Можно заметить, что перечисленные связи могут быть отображены с помощью хорошо известных формализмов моделирования: диаграммы «сущность – связь» (ER) [17], диаграммы состояний (STD) [18], диаграммы потоков данных (DFD) [19], графа событий (Event Graph) [20], сетей Петри [21]. Рассмотрим, как перечисленные диаграммы описывают связи между парами концептов. Будем рассматривать только базовые формализмы, которые не имеют расширений. Обратим внимание, что каждая из диаграмм способна моделировать, а что она использует как ссылку на другую диаграмму.

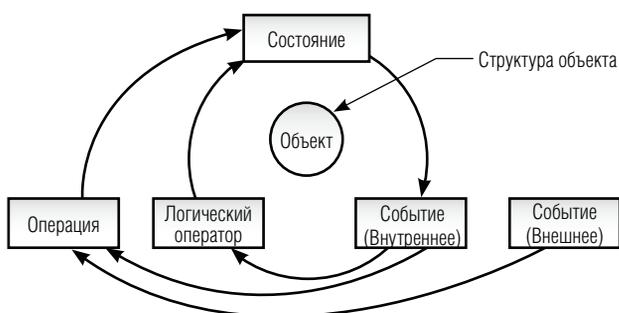


Рис. 3. Шестидольный граф, описывающий онтологическую модель BWV

2.1. Диаграмма сущность – связь (ER)

Для описания информационных объектов, их атрибутов и связей между ними используется диаграмма «сущность – связь» (ER). Выделив основные понятия предметной области, можно найти объекты, подверженные обработке, каждый из которых образует соответствующий процесс. Диаграмма оперирует понятиями «сущность», под которой принято понимать любой различимый объект, и «атрибут» – поименованная характеристика сущности [17]. Состояние объекта определяется значениями, которые принимают его атрибуты (свойства). Мы можем сопоставить каждому поименованному состоянию объекта определенный набор атрибутов и их значений. Таким образом, диаграмма ER моделирует объект, его структуру.

2.2. Диаграмма состояний (STD)

Диаграмма переходов состояний – это традиционный способ описания поведения объекта. Принято выделять управляющее и вычислительное состояния [22]. Например, управляющее состояние «работа выполняется/закончена» отражает статус отдельной операции процесса. Вычислительное состояние связано с объектом, оно отражает успех или неудачу выполнения операции. Например, результатом операции «проверить заявку» может быть успех (заявка принята), или неудача (она отклонена). Предметом нашего рассмотрения являются вычислительные состояния объекта. Поскольку внутри большой прикладной программы могут существовать много переменных и потоков управления, принято выделять переменные состояния [23]. Для упрощения анализа в каждый момент времени рассматривают изменения одной переменной состояния, которая определяет состояние всей системы [22].

Диаграмма состояний показывает переходы между допустимыми состояниями объекта. При этом она использует поименованные состояния объекта, но не указывает конкретные значения соответствующих атрибутов – эту информацию можно получить по ссылке из ER-диаграммы. Диаграмма состояний не позволяет моделировать трансформации, в результате которых происходит изменение состояния, вместо этого она содержит ссылку на диаграмму потоков данных, где содержится соответствующая информация.

2.3. Диаграмма потоков данных (DFD)

Диаграмма потоков данных описывает обработку информационных объектов [24]. Ее принято называть трансформирующей, т.к. она изображает работы, которые преобразуют входной поток, но не показывает те, которые его не изменяют [25]. Поэтому она не позволяет моделировать логические операторы процесса. Обратим внимание, что на диаграмме указывается логическое имя трансформации, а собственно алгоритм преобразования содержится в мини-спецификации, которая описывает преобразование отдельных атрибутов этого объекта. Диаграмма DFD должна быть согласована с диаграммами STD и ER: начальное и результирующее состояния объекта должны различаться именно в тех свойствах, которые изменяются данной трансформацией. Диаграмма DFD не содержит информации о моменте времени, когда можно начинать трансформацию, для этой цели используется ссылка на граф событий, который будет рассмотрена ниже.

Вопрос о том, является ли диаграмма потоков данных формальной, зависит от способа описания трансформации, преобразующей входы в выходы. Если мини-спецификации можно задать в математически строгом виде, то модель считается формальной. В интересующем нас случае мини-спецификацию можно описать формально, используя понятие целевое значение объекта и его атрибутов. В результате трансформации объект должен перейти в целевое состояние, которое характеризуется определенным набором целевых значений атрибутов этого объекта. Если все целевые значения атрибутов достигнуты, значит целевое значение объекта получено, что рассматривается как успех выполнения трансформации, а если целевое значение не достигнуто, то как неудача. Таким образом можно абстрагироваться от конкретных значений и описать преобразование формально с помощью булевой логики.

2.4. Граф событий

Граф событий показывает темпоральную связь между событиями [20]. Его узлы отображают моменты времени, когда объект изменяет свое состояние. События могут быть внутренними (связанными с изменением объекта наблюдения) и внешними (связанными с изменением другого, внешнего объекта). Дуги на диаграмме отображают очередность событий и, таким образом, событийная диаграмма показывает отношение следования событий. Если сопоставить длину дуги тому времени, которое проходит между двумя последовательными событиями, то мы получим диаграмму Ганта. Например (рис. 4), событие E0in отображает момент завершения предыдущей операции – объект готов к выполнению очередной операции, однако она начинается не сразу, а с некоторой задержкой – назовем ее временем ожидания начала исполнения. Внешнее событие E1ex, которое связано с внешним управляющим устройством, инициирует выполнение очередной операции. Факт завершения очередной операции отображается как внутреннее событие E1in: объект готов к выполнению следующей операции, он будет снова находиться в состоянии ожидания, пока не произойдет внешнее событие E2ex. На том же рисунке изображена диаграмма Ганта.

2.5. Сети Петри

Принято считать, что сети Петри позволяют моделировать динамическое поведение процесса [26], однако это не вполне верно, поскольку простые сети Петри имеют ограниченную выразительность, не в состоянии отобразить состояние объекта и трансформации, изменяющие его. Графическим представлением сети Петри является помеченный двудольный ориентированный граф, содержащий вершины двух типов – позиции и переходы, соединенные между собой дугами, причем вершины одного типа не могут быть соединены непосредственно.

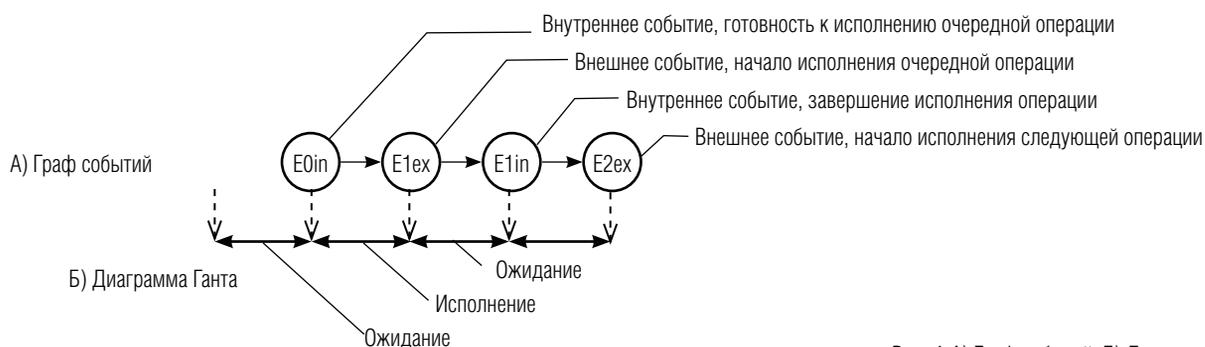


Рис. 4. А) Граф событий; Б) Диаграмма Ганта

В позициях могут размещаться маркеры, способные перемещаться по дугам через переходы. В случае моделирования процессов маркер ассоциируется с некоторым объектом – предметом, который имеет материальную природу или информационной сущностью. Переход ассоциируется с работой или перемещением объекта, он передвигает маркер из позиции в позицию. Позиция пассивна, она не изменяет и не перемещает маркер, только сохраняет его между двумя переходами. Состояние сети Петри в любой момент времени определяется расположением маркеров в позициях, а изменение состояния самого объекта в результате выполнения операции или смена объекта, с которым связан маркер, не анализируется. Обратим внимание, что переходы обычной сети Петри не могут передать суть трансформации, поскольку не содержат мини-спецификации, они не передают длительности трансформации, поскольку происходят мгновенно, позиции не отображают состояние объекта. Маркер отображает текущее «пространственное» положение «точки управления» на схеме процесса, иными словами ее перемещение в результате маршрутизации логическими операторами. Таким образом, обычные сети Петри не в состоянии моделировать поведение, но подходят для моделирования логики процесса. Эта задача является актуальной, поскольку при определенном соединении двух простых логических операторов могут возникать коллизии, препятствующие нормальному исполнению процесса. Например, в результате последовательного соединения узла ветвления «ИЛИ» и слияния «И» возникает тупик, процесс останавливается и не может быть исполнен [27].

2.6. Структура связей между концептами онтологии

Можно сделать вывод, что связи между концептами онтологической модели *BWW* описываются

пятью диаграммами. Знакомые с техническим черчением знают, что модель материального объекта имеет три проекции, так что в отсутствие хотя бы одной из них чертеж окажется неполным, изготовить деталь окажется невозможно. Рассмотренные нами диаграммы можно рассматривать в качестве проекций модели процесса, каждая отображает отдельные аспекты, а все вместе они образуют его полную модель. Выделим следующие перспективы и формализмы, используемые для их описания: информационную – диаграмма «сущность–связь»; поведенческую – диаграмма состояний; трансформационную – диаграмма потоков данных; темпоральную – граф событий; логическую – обычные сети Петри. *Таблица 1* представляет результаты сравнения предлагаемых формальных моделей, символ «М» показывает параметр, который соответствующая диаграмма моделирует, а символ «С» – тот параметр, который используется как ссылка на другую диаграмму.

3. Структурный анализ языков моделирования бизнес-процессов

Многочисленные исследования показывают, что языки и нотации моделирования процессов не способны отобразить сразу все концепты онтологической модели *BWW*, но только их часть. При этом авторы исследований концентрируют внимание на процентном соотношении моделируемых и не моделируемых концептов, подсчитывают относительную степень дефицита, избыточности, неоднозначности и неразличимости. *Таблица 2* показывает результаты подобных исследований [9]. Возникает вопрос, насколько язык, имеющий 10% дефицита, лучше, чем другой язык, имеющий 15% дефицита выразительной способности?

Таблица 1.

Что позволяют моделировать диаграммы

Концепт Диаграмма	Объект и его структура	Состояние объекта	Операция		Событие		Перспектива
			Трансформация	Маршрутизация	Внутреннее	Внешнее	
ER	М	-	-	-	-	-	Информационная
STD	С	М	С	-	-	-	Поведения
DFD	С	С	М	-	-	-	Трансформационная
Petri Net	-	-	С	М	-	-	Логика
Event Graph	-	С	-	-	М	М	Темпоральная

Таблица 2.

**Сравнительный анализ
языков моделирования**

Нотация моделирования	Относительная степень			
	дефицита	неразличимости	избыточности	неоднозначности
BPMN 1.0	51%	35%	28%	25%
BPML 1.0	29%	65%	28%	3%
EPC	3%	62%	43%	28%
WSCI 1.0	29%	49%	18%	8%
ebXML 1.01	15%	13%	14%	5%
BPEL 1.1	32%	49%	13%	6%

Выскажем предположение, что требование эквивалентности множеств знаков языка и концептов онтологии **BWW** является излишне строгим, что неразличимость, избыточность и неоднозначность делают язык моделирования непригодным для моделирования. Однако дефицит выразительной способности языка допустим, поскольку может быть преодолен. В *таблице 2* показано сравнение выразительной способности нотаций EPC и BPMN отобразить различные перспективы модели процесса. Обе нотации не моделируют структуру информационного объекта, подвергаемого обработке, и, таким образом, не отображают информационную перспективу. Символ «событие» в нотации EPC отображает состояния, которое приобретает объект в результате выполнения очередной операции процесса, что позволяет показать очередность смены состояний и отобразить поведенческую перспективу, однако в нотации BPMN место для отображения состояний не предусмотрено. Обе нотации отображают названия операций, которые трансформируют информационный объект, но необходимо уточнить их при помощи мини-спецификаций — указать свойства, которые требуется изменить, чтобы достичь целевого состояния. Диаграмма EPC не содержит средств для указания временных интервалов, поэтому не передает темпоральную перспективу модели процесса, но в нотации BPMN такие средства есть. Обе диаграммы позволяют отобразить логические операторы процесса. Подводя итог, можно увидеть, что ни одна из нотаций моделирования бизнес-процессов не в состоянии отобразить сразу все перспективы модели процесса, а только их часть. Иными словами, обе нотации обладают дефицитом выразительной способности.

Таблица 2.

**Сравнительный анализ
выразительной способности
нотаций EPC и BPMN**

Нотация	Перспективы модели				
	Информационная	Поведенческая	Трансформационная	Темпоральная	Логическая
EPC	–	+	+	–	+
BPMN	–	–	+	+	+

Для преодоления дефицита в данной работе предлагается моделировать бизнес-процесс не в одной нотации, а в нескольких согласованных диаграммах, так, чтобы каждая раскрывала отдельные перспективы модели, а все вместе они образовывали интегрированное описание. Например, нотацию EPC следует дополнить информационной моделью и диаграммой Ганта, а модель в нотации BPMN следует дополнить информационной моделью и диаграммой состояний. Диаграммы, изображающие отдельные перспективы модели процесса, должны быть хорошо согласованы. Например, трансформационная перспектива должна описывать изменение только тех свойств, которые характеризуют соответствующее целевое состояние объекта.

4. Обсуждение результатов

Идея, что модель процесса следует рассматривать как совокупность нескольких перспектив, обсуждалась разными исследователями. Например, известная модель Захмана включает шесть перспектив [28]. Архитектура CIMOSA выделяет четыре перспективы: функциональную, информационную, ресурсную, организационную [29]. Интегрированная модель информационных систем ARIS рассматривает 4 четыре перспективы, причем три из них (информационная, организационная и функциональная) рассматриваются как основные, а выбор четвертой перспективы определяется выбором цели моделирования: для моделирования информационной системы используется ресурсное представление, а для моделирования бизнеса применяется перспектива управления [30]. Предложение, сформулированное Б. Кёртисом, включает четыре перспективы: функциональную, поведенческую, информационную, организационную [18]. Можно видеть, что количество перспектив у разных исследователей различается, поэтому возникает задача обосновать состав перспектив модели.

Договоримся различать понятия «процесс» и «бизнес-процесс», разница заключается в следующем. Процессом М. Бунге называется история изменения состояний некоторого объекта, который трансформируется в результате выполнения операций, инициируемых событиями, а последние отражают смену состояния других объектов, внешних по отношению к наблюдаемому. Рассмотрим, какой смысл мы вкладываем в термин, когда добавляем слово «бизнес». Во-первых, мы имеем в виду, что объект управления является информационным. В противном случае, если объект материальный, следует говорить о технологическом процессе. Во-вторых, мы подразумеваем, что существует некоторая технология, понимаемая как способ получения воспроизводимого результата требуемого качества за нормативное время с приемлемой затратой экономических ресурсов. Целью бизнес-процесса является воспроизводимый результат на выходе, чего можно добиться, фиксируя способ выполнения работ. В-третьих, бизнес-процесс потребляет некоторые экономические ресурсы, причем, если их расход выше запланированного, следует говорить о нарушении технологии. Рассмотренная нами расширенная онтология *BWW* включает пять перспектив: информационную, поведенческую, трансформационную, темпоральную и логическую, причем каждая имеет свой формализм. Она не содержит концепты, характеризующие экономический результат и учитывающие затраченные экономические ресурсы, поэтому она характеризует модель процесса.

Вернемся к высказанному ранее предположению, что дефицит выразительной возможности языка моделирования бизнес-процессов преодолим. Если некоторая нотация моделирования бизнес-процессов не позволяет отобразить отдельные перспективы интегрированной модели процесса, то можно говорить о дефиците выразительной способности соответствующего языка. Дефицит преодолим путем моделирования процесса в нескольких согласованных диаграммах так, чтобы каждая изображала отдельные аспекты, а все вместе они давали полное и интегрированное представление всех его аспектов. Отдельные перспективы должны быть согласованы между собой, чтобы ссылки указывали переходы между диаграммами.

Полученный результат имеет важное практическое значение. Программные среды моделирования *ARIS* и *UML* включают много нотаций, причем аналитику предлагается сделать выбор с учетом его персональных предпочтений. При этом остается

без внимания то, что, выбрав основную нотацию моделирования, аналитик должен дополнить ее так, чтобы в совокупности они покрывали все перспективы модели процесса.

Предлагаемый в работе подход в целом, соответствует предложениям Э. Йордана, который в рамках структурного метода моделирования предлагал моделировать последовательно в трех диаграммах *DFD*, *STD* и *ER* [31]. Э. Йордан не ставил целью проектировать системы реального времени, поэтому структурный метод опускает временной аспект, в нем не используется диаграмма Ганта, не моделируется бизнес логика, поэтому отсутствуют сети Петри. Выбор перспектив Э. Йорданом теоретически не обоснован. Поскольку мы рассматриваем наиболее общий случай, мы дополнили нашу модель таким образом, чтобы учесть все связи между концептами. Аналогичные замечания справедливы, если рассмотреть исполняемый *UML*, поскольку там используется тот же набор диаграмм, что и у Э. Йордана [32].

Заключение

Новизна проведенного в работе анализа заключается в том, что онтологическая модель Бунге-Ванда-Вебера адаптирована для моделирования процессов, выделены дополнительные концепты, им дано новое толкование. Исследованы связи между концептами, теоретически обоснованы пять перспектив модели процесса: информационная, поведенческая (состояния), трансформационная, логическая и темпоральная. Для каждой перспективы определен формализм описания. Показано различие между моделью процесса и моделью бизнес-процесса.

Получен практически важный результат: ни один из известных языков моделирования бизнес-процессов не позволяет отобразить сразу все концепты онтологической модели *BWW*, только их часть. Таким образом, все известные нотации моделирования обладают дефицитом выразительной способности. В работе предложен способ преодоления дефицита, заключающийся в использовании интегрированной модели, которая включает несколько диаграмм, каждая из которых отображает отдельные аспекты модели процесса, а вместе они образуют полное согласованное представление.

Результаты объясняют, почему при разработке исполняемой модели бизнес-процесса приходится достаточно много программировать. Во-первых, исполняемая модель в нотации *BPMN* не в состо-

янии отобразить отдельные перспективы модели процесса, поэтому их подменяют кодированием. Во-вторых, отдельные перспективы недостаточно согласованы между собой на уровне модели, и этот недостаток приходится компенсировать введением дополнительного программного кода. Предложен метод преодоления дефицита онтологической вы-

разительности модели процесса, заключающийся в моделировании процесса на нескольких диаграммах, так, чтобы каждая из них покрывала отдельные перспективы модели процесса, а все вместе они позволяли создать полное и исчерпывающее описание процесса. Это позволит исключить необходимость в дополнительном кодировании. ■

Литература

1. Opdahl A., Henderson-Sellers B. Ontological evaluation of the UML using BWW model // *Software and Systems Modeling*. 2002. Vol. 1. No. 1. P. 43–67.
2. Recker J., Rosemann M., Krogstie J. Ontology versus pattern-based evaluation of process modeling languages: A comparison // *Communications of the Association for Information Systems*. 2007. Vol. 48. No. 20. P. 774–799.
3. Green P., Rosemann M. Integrated process modeling. An ontological evaluation // *Information Systems*. 2000. Vol. 25. No. 2. P. 73–87.
4. Green P., Rosemann M., Indulska M. Ontological evaluation of enterprise systems interoperability using ebXML // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2005. Vol. 17. No. 5. P. 713–725.
5. Green P., Rosemann M., Indulska M., Manning C. Candidate interoperability standards: An ontological overlap analysis // *Data & Knowledge Engineering*. 2007. Vol. 62. No. 2. P. 274–291.
6. Rosemann M., Green P., Indulska M., Recker J. Using ontology for the representational analysis of process modelling techniques // *International Journal of Business Process Integration and Management*. 2009. Vol. 4. No. 4. 2009. P. 251–265.
7. Фёдоров И.Г. Сравнительный анализ методов моделирования бизнес-процессов // *Открытые системы*. 2011. № 8. С. 28–30.
8. Wand Y., Weber R. Research commentary: Information systems and conceptual modeling – A research agenda // *Information Systems Research*. 2002. Vol. 13. No. 4. P. 363–376.
9. Recker J., Rosemann M., Indulska M., Green P. Business process modeling: A maturing discipline? // *BPM Center Report BPM-06-20, 2005 37* [Электронный ресурс]: <http://bpmcenter.org/wp-content/uploads/reports/2006/BPM-06-20.pdf> (дата обращения: 15.01.2014).
10. Найханова Л.В. Основные аспекты построения онтологий верхнего уровня и предметной области // В сб.: *Интернет-порталы: содержание и технологии*. М.: ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика». Просвещение, 2005. С. 452–479.
11. Bunge M. *Treatise on basic philosophy ontology I: The furniture of the world*. Vol 3. Boston, MA: D. Reidel Publishing Company, 1977. 369 p.
12. Уемов А.И. *Вещи, свойства и отношения*. М.: Академия наук СССР, 1963. 184 с.
13. Soffer P., Wand Y. On the notion of soft-goals in business process modeling // *Business Process Management Journal*. 2005. Vol. 11. No. 6. P. 663–679.
14. Фёдоров И.Г. Адаптация онтологии Бунге-Ванда-Вебера к описанию исполняемых моделей бизнес-процессов // *Прикладная информатика*. 2015. № 4 (58). С. 82–92.
15. Бабкин Е.А. О понятии события в дискретно-событийном моделировании // В сб.: *Информационные системы: Теория и практика*. Курск: Курский гос. университет, 2010. С. 46–51.
16. Павловский Ю.Н., Белотелов Н.В., Бродский Ю.И. *Имитационное моделирование*. М.: Академия, 2008. 236 с.
17. Кузнецов С.Д. *Основы баз данных*. М.: ИНТУИТ, 2005. 488 с.
18. Curtis B., Kellner M., Over J. Process modeling // *Communications of the ACM*. 1992. Vol. 35. No. 9. P. 75–90.
19. Bruza P.D., van der Weide T.P. The semantics of Data Flow Diagrams // *Proceedings of the International Conference on Management of Data*. Prentice Hall, 1993. P. 1–13.
20. Schruben L. Simulation modeling with event graphs // *Communications of the ACM*. 1983. Vol. 26. No. 11. P. 957–963.
21. Storrie H. *Models of Software Architecture. Design and analysis with UML and Petri-nets*. Munchen: Ludwig-Maximilians-Universitat, 2000. 306 p.

22. Шалыто А.А. SWITCH-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. СПб: Наука, 1998. 628 с.
23. Буч Г., Максимчук Р. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. М.: Вильямс, 2008. 720 с.
24. Калашян А.Н., Калянов Г.Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии. М.: Финансы и статистика, 2003. 234 с.
25. Whitten L., Bentley K., Dittman J. Systems analysis and design methods. McGraw-Hill Companies, 2004. 550 p.
26. Ter Hofstede A., van der Aalst W., Adams M., Russell N. Modern business process automation. Springer Verlag, 2010. 616 p.
27. Soundness of workflow nets: Classification, decidability, and analysis / W. van der Aalst [et al] // Formal Aspects of Computing. 2011. Vol. 23. No. 3. P. 333–363.
28. Zachman J.A. The Zachman Framework: A primer for enterprise engineering and manufacturing (electronic book). 2003. [Электронный ресурс]: <http://www.zachmaninternational.com> (дата обращения: 15.01.2015).
29. Vernadat F. Enterprise integration: On business process and enterprise activity modeling // Concurrent Engineering: Research and Applications. 1996. Vol. 4. No. 3. pp. 219–228.
30. Scheer A.W., Nüttgens M. ARIS Architecture and reference models for business process management // Business Process Management. Springer Lecture Notes in Computer Science. 2002. Vol. 1806. P. 376–389.
31. Yourdon E. Modern structured analysis. Prentice Hall, 1988. 688 p.
32. Mellor S., Balcer M. Executable UML. A foundation for model-driven architecture. Boston, MA: Addison-Wesley, 2002. 368 p.
33. Wand Y., Weber R. An Ontological model of an information system // IEEE Transactions on Software Engineering. 1999. Vol. 16. No. 11. P. 1282–1292.