

УДК 007.5



## ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ

В.М. Левыкин<sup>1</sup>, С.Ф. Чалый<sup>2</sup>, А.А. Кривчикова<sup>3</sup>, С.Н. Селезнев<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, levykin@kture.kharkov.ua

<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, s\_chaliy@mail.ru

<sup>3</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, krivchikovaanna@gmail.com

<sup>4</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, rp01@mail.ru

В работе предложен и обоснован логический подход к формализации многоуровневого представления бизнес-процессов (БП), ориентированный на решение задач интеллектуального анализа БП (process mining). Получена логическая модель представления бизнес-процесса, которая обеспечивает возможность решения задач управления БП и создает возможности для реализации формализованного подхода к формированию и верификации описания бизнес-процессов на основе интеллектуального анализа процессов.

### БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ, ПРАВИЛА, ОБЪЕКТЫ, ПРОЦЕДУРЫ

#### Введение

Современный этап процессного управления организациями характеризуется необходимостью построения гибких бизнес-процессов (БП), ориентированных на пользователя и изменяющихся на основе знаний. Традиционно в основе процессного подхода к управлению организацией лежит выделение в организации бизнес-процессов и управление этими процессами. При этом под БП обычно понимают устойчивую, целенаправленную совокупность взаимосвязанных видов деятельности (последовательности работ), которая по определенной технологии преобразует входы в выходы, представляющие ценность для потребителя [1]. Бизнес-процессы имеют сложную многоуровневую структуру и включают в себя, в частности, следующие ключевые элементы: ресурсы; процедуры процесса в заданной последовательности; знания о взаимосвязи процедур, исполнителях, поставщиках, потребителях, выраженные в форме правил.

В последние годы произошли значительные изменения в области управления бизнес-процессами, направленные на унификацию существующих подходов. Вместо проектирования специализированных информационных систем для каждого предприятия теперь разрабатываются процессно-ориентированные системы, направленные на поддержку ряда видов деятельности на основе построения формальной процессной модели. Иными словами, основной акцент в данной области смещается с непосредственно программирования в сторону построения максимально точной и детальной процессной модели, которая реализуется в рамках системы управления бизнес-процессами (СУБП) [2]. Жизненный цикл такой системы включает в себя этапы [3] формализации описания процесса; конфигурирования информационной системы; выполнения процесса; анализа результатов выполнения с целью улучшения процесса. На этапе вы-

полнения формируется журнал событий, который отражает текущее поведение БП. Данный журнал используется на этапе анализа для выбора направления дальнейшей реорганизации и улучшения каждого процесса и системы в целом. Таким образом, рассмотренный жизненный цикл ориентирован на непрерывное совершенствование систем управления бизнес-процессами.

Следует отметить, что среди рассмотренных четырех этапов существующие СУБП позволяют автоматизировать лишь этап выполнения процесса. Остальные этапы ориентированы на интеллектуальную деятельность человека и требуют применения знаний для анализа и построения улучшенной модели процесса, а также усовершенствованной версии системы управления. Следовательно, возникает проблема разработки методов и моделей анализа, построения и усовершенствования БП на основе знаний о порядке протекания и ограничениях на выполнение процессов. Указанные вопросы рассматриваются в научном направлении интеллектуального анализа процессов (process mining). Данное направление ориентировано на построение систем, моделирующих интеллектуальную деятельность человека по нахождению новых и доступных для интерпретации знаний, необходимых для выявления взаимосвязей между элементами бизнес-процессов, ограничений и условий их выполнения, а также восстановления структуры процесса [2]. В качестве исходной информации для process mining используются зафиксированные во времени данные о результатах функционирования существующих процессов, а также документальные требования к таким БП. Решение указанной проблемы основывается на обобщенном формализованном описании всех элементов бизнес-процесса, что требует разработки модели представления БП, обеспечивающей возможность его реорганизации на основе знаний.

## 1. Постановка задачи

Традиционное представление БП ориентировано на формализацию последовательности процедур между входом и выходом процесса, а также взаимосвязей между ними. В то же время, для задач интеллектуального анализа процессов такое представление должно отражать его многоуровневую структуру, основанную на знаниях о процессе, ограничениях на БП и порядке его реорганизации. В работе [4] предложена обобщенная многокомпонентная модель БП, которая учитывает многоуровневую структуру процесса и отражает элементы знаний в виде правил верхнего уровня модели (рис. 1).

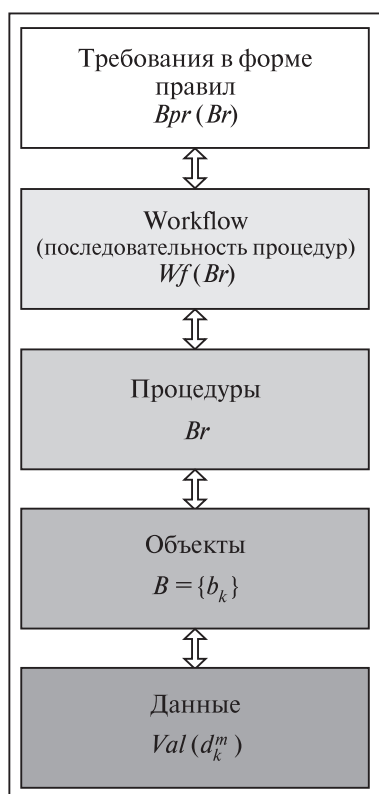


Рис. 1. Многокомпонентная модель представления бизнес-процессов

Здесь  $Br = \{Br_j\}$  – это множество бизнес-процедур;  $Wf(Br)$  – последовательность выполнения процедур  $Br_j$ ;  $Vpr(Br)$  – правила выполнения БП, которые соответствуют функциональным требованиям к бизнес-процессам;  $B = \{b_k\}$  – набор бизнес-объектов бизнес-процесса;  $Val(b_k^m)$  – текущие значения данных – атрибутов объектов  $b_k$  [4]. Отметим, что многокомпонентная модель носит преимущественно декларативный характер и требует дальнейшего развития с учетом рассмотренного жизненного цикла системы управления бизнес-процессами. Соответственно, сформулируем требования к модели представления бизнес-процесса для решения задачи интеллектуального анализа данных:

- формализация основных элементов БП: знаний о порядке его выполнения; процедур; объектов, с которыми оперирует бизнес-процесс; исполнителей;

- возможность непосредственной интерпретации модели (ее исполнения);

- единая форма представления для всех элементов БП, включая знания о процессе, а также для взаимосвязей между элементами;

- возможность формализованного изменения последовательностью процедур БП, исполнителей процедур на основе результатов process mining.

Сформулированные требования отражают специфику как бизнес-процессов, так и интеллектуального анализа процессов и в значительной степени определяют выбор математического аппарата логики для построения модели представления БП [5].

В соответствии с изложенным, сформулируем задачу построения логической модели представления бизнес-процесса.

Исходными данными задачи являются:

- 1) множество элементов бизнес-процесса, включая знания, процедуры, объекты и исполнителей;

- 2) многокомпонентная модель представления БП, которая отражает иерархию взаимосвязей между элементами процесса.

Требуется получить логическую модель представления бизнес-процесса, которая удовлетворяла бы изложенным требованиям и позволяла бы выполнить оценку процесса (в частности, оценку достижимости его конечного состояния).

Для решения поставленной задачи необходимо выполнить следующие шаги:

- 1) провести анализ существующих подходов к описанию элементов бизнес-процесса и взаимосвязей между этими элементами;

- 2) обосновать выбор математического аппарата;

- 3) адаптировать выбранный математический аппарат с учетом особенности знаний ориентированной структуры бизнес-процесса;

- 4) построить логическую модель многоуровневого представления бизнес-процесса.

## 2. Анализ существующих подходов к описанию и моделированию бизнес-процессов

В настоящее время разработан целый ряд подходов к моделированию бизнес-процессов, ориентированных на специфику различных отраслей. Указанные подходы целесообразно разбить на три группы по признакам учета взаимосвязей процедур, ограничений на процесс и учета событий, происходящих при выполнении БП:

- 1) граф управления потоком работ;

- 2) темпоральные ограничения;

- 3) правила вида «событие-условие-действие».

Граф управления потоком работ позволяет визуально отобразить зависимости между процедурами процесса и поэтому часто применяется в коммерческих системах управления бизнес-процессами.

В соответствии с данным подходом реализованы следующие технологии: EPC (event-driven process chain) – технология описания процессов на основе цепочки событий; ERM (entity relationship model) – модель сущность-связь для описания структуры данных; BPMN (business process modeling notation) – технология графического представления бизнес-процессов.

При реализации рассмотренных подходов используются различные способы формализации, в частности аппарат расширенных сетей Петри. В данном случае БП представляется сетью Петри. Каждый этап выполнения процесса (либо процедура БП) отображается переходом сети Петри. Передача управления между процедурами формализуется с помощью позиций сети Петри. Информация, используемая при выполнении бизнес-процесса и отражающая свойства объектов процесса (бизнес-объектов), отображается маркерами сети.

Следует отметить, что сети Петри, представляющие описание бизнес-процесса в workflow-системе, обычно выделяют в отдельный класс сетей Петри, именуемый WPN (Workflow Petri Nets). Такое выделение класса сетей связано с ограничениями процесса на последовательность процедур, что и обуславливает дополнительные свойства WPN. Объектно-ориентированные расширения сетей Петри позволяют интегрировать возможности workflow и UML для описания, анализа, моделирования и управления бизнес-процессами современного предприятия с использованием открытых стандартов представления информации [1].

Подход на основе темпоральных (временных) ограничений представляет возможности для моделирования графа управления потоком работ без дуг с помеченными условиями перехода. Данный подход имеет ограниченные возможности и не позволяет естественным образом представить коррекцию потока работ, а также отразить поддержку принятия решений и верификацию целостности бизнес-процессов. Подход, основанный на правилах вида «событие-условие-действие», ориентирован на построение бизнес-процессов с изменяемой структурой и позволяет отобразить знания о функционировании и взаимосвязи процедур процесса. В то же время, в соответствии с данным подходом не всегда видна целостная структура БП, поэтому представляется целесообразным его сочетание с графом управления потоком работ.

Следует отметить, что бизнес-процессы предприятия могут быть описаны с помощью стандартных блок-схем. Они содержат некоторые дополнительные специальные графические объекты,

использование которых позволяет делать блок-схемы процессов более наглядными и понятными для исполнителей [1].

Таким образом, рассмотренные подходы ориентированы преимущественно на построение фиксированной структуры процесса как последовательности взаимосвязанных процедур, выполнение которых ограничено причинно-следственными связями и временными рамками. В то же время решение задач интеллектуального анализа процессов основано на использовании знаний, что требует включения формализованного их представления в структуре БП.

### 3. Обоснование логического подхода к формализации бизнес-процессов

На рис. 1 была приведена структура многокомпонентной модели представления бизнес-процесса. Такая модель позволяет описать реализацию БП в виде графа с конечным набором начальных состояний. Указанный граф может быть представлен в виде логических формул, отражающих состояния вершин и правила перехода между вершинами. Отметим, что временные параметры бизнес-процесса требуют применения логического аппарата, который бы учитывал фактор времени. Исходя из изложенного, используем для описания БП аппарат темпоральной модальной логики STL\*. В темпоральной логике синтаксис операторов времени позволяет корректно описать временные свойства процесса. Для того чтобы избежать неоднозначности в описании потоков работ, используются логические и модальные операторы. Логические операторы связи позволяют описать ветвление и слияние процесса [6].

Можем формализовать модель описания бизнес-процессов как структуру ветвящегося времени  $M = (S, S_0, R, L)$ , где:

1.  $S$  – конечное множество состояний;
2.  $S_0$  – множество начальных состояний;
3.  $R \subseteq S \times S$  – отношение переходов;
4.  $L$  – функция истинности.

Заметим, что  $M$  является ориентированным графом с набором вершин  $S$ , с набором дуг  $R$  и с метками узлов, которые задаются функцией  $L$ . Синтаксисом темпоральной логики определяются правила составления формальных утверждений. Синтаксис STL\* включает в себя следующие наборы кванторов пути:  $\forall$  – квантор всеобщности, указывающий на то, что данное свойство выполнено для всех путей реализации бизнес-процесса;  $\exists$  – квантор существования, указывающий на то, что данное свойство выполнено для некоторого пути реализации БП.

В логике STL\* выделяют два типа формул: формулы состояний и формулы пути. Формулы состояний описывают свойства соответствующе-

го состояния, формулы пути описывают свойства соответствующего пути. Приведем синтаксис формул состояния и синтаксис формул пути.

1. Синтаксис формул состояний. Пусть  $AP$  – множество атомарных высказываний.

- Если  $f \in AP$ , то  $f$  – это формула состояний.
- Если  $f$  и  $g$  формулы состояний, то  $\neg f, f \wedge g, f \vee g$  – формулы состояний.
- Если  $f$  – формула пути, то  $\forall f, \exists f$  – формула состояния.

2. Синтаксис формул пути.

- Если  $f$  – формула состояний, то  $f$  – формула пути.
- Если  $f$  и  $g$  формулы пути, то  $\neg f, f \wedge g, f \vee g$  – формулы пути.

Отметим, что составляющие многокомпонентной модели представления БП, такие как требования в форме правил, последовательность процедур (Workflow), процедуры, объекты и данные являются конечным набором состояний и могут быть описаны с помощью формул состояний СТЛ\* логики. Исходя из рис. 1 и применяя синтаксис СТЛ\* логики, взаимосвязи между знаниями о предметной области, выраженными в форме правил  $Vpr$  и последовательностью процедур  $Br_j$  бизнес-процесса, выражаются логическим произведением правил  $Vpr_j$  и соответствующих процедур  $Br_j$ :  $Vpr_j \wedge Br_i \rightarrow Vpr_l, j=1, \overline{J}, i=1, \overline{I}, l=1, \overline{L}$ . Иными словами, на основе логического произведения процедур и правил мы можем упорядочить знания о структурных взаимосвязях бизнес-процесса в виде иерархии бизнес-правил и таким образом создать возможность оценки достижимости конечного результата(состояния) процесса при имеющихся знаниях и ограничениях в предметной области.

Аналогичным образом логическое умножение процедур  $Br_j, j=1, \dots, n$  и объектов процедур  $b_k, k=1, \dots, n$ :  $Br_j \wedge b_k$  позволяет оценить полноту процесса путем определения тех объектов БП, которые не обрабатываются процедурами.

Таким образом, рассмотренный математический аппарат позволяет удовлетворить требованиям о представлении бизнес-процесса для решения задачи интеллектуального анализа процессов.

#### 4. Логическая модель многоуровневой представления бизнес-процессов

В соответствии с рассмотренным подходом усовершенствуем представленную на рис. 1 многокомпонентную модель. Предлагаемая логическая модель представления БП дополнительно учитывает: роли исполнителей; структуру объектов, с которыми оперирует бизнес-процесс; знания о функционировании БП (рис. 2).

Предлагаемая модель содержит знания в форме правил  $Vpr = \{Vpr_j\}$  двух видов: правила, отражающие порядок выполнения процедур БП, взаимо-

связи между процедурами, а также ограничения на последовательность выполнения процедур; правила, отражающие порядок обработки объектов бизнес-процесса и порядок обработки объектов.

Усовершенствованная модель представления бизнес-процессов включает в себя роли исполнителя процедур. Обозначим  $Rl_j$  роль исполнителя  $Isp_i$  процедуры. Процедуры  $Br_j$  объединяются в Workflow на основе рассмотренных ранее правил. С каждой процедурой связаны исполнители посредством механизма ролей. Совокупность объектов бизнес-процесса, их атрибутов, данных, а также соответствующих правил обработки составляют ресурсы процесса. Правила обработки объектов в предлагаемой модели позволяют структурировать и формализовать нижний уровень бизнес-процесса. Такие правила позволяют выделить ключевые объекты, оценить эффективность их обработки и тем самым создать условия для усовершенствования БП [7].

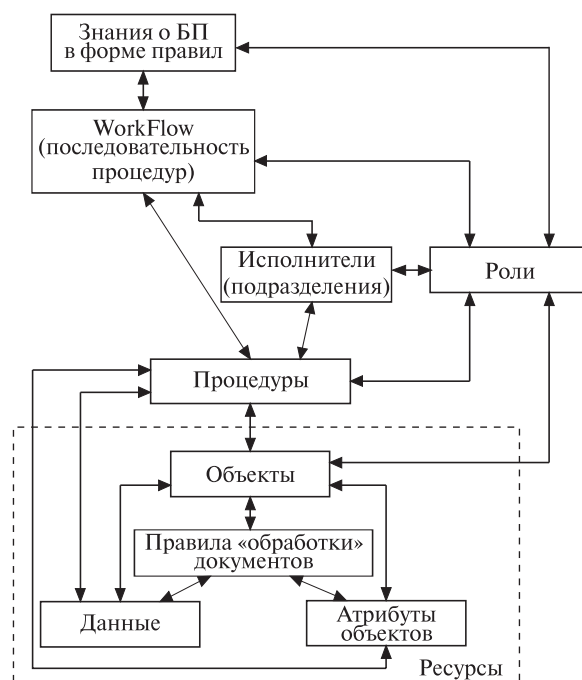


Рис. 2. Многоуровневая модель представления бизнес-процесса с изменяющейся структурой

В соответствии с предлагаемым подходом, взаимосвязь бизнес-процедуры  $Br_j$  и роли исполнителя этой процедуры  $Rl_j$  естественным образом представляется в виде конъюнкции  $Br_j \wedge Rl_j, j=1, \overline{J}$  и позволяет оценить наличие исполнителей  $Isp_i$  соответствующей процедуры моделируемого процесса.

Аналогично, используя синтаксис формулы состояния, можем применить конъюнкцию для  $i$ -го исполнителя  $j$ -ой роли:  $Rl_j \wedge Isp_i \rightarrow Isp_j, i=1, \overline{I}, j=1, \overline{J}$ . Таким же образом конъюнкция используется для реализации правила-ограничения  $Vpr_j$  на  $j$ -ю роль бизнес-процедуры:  $Vpr_i \wedge Rl_j \rightarrow Vpr_j$ .



Адаптируем интерпретацию модальных операторов логики [6] с учетом особенностей предметной области:  $FBr_j$  — «в конечном итоге должна выполняться процедура  $Br_j$ »;  $GBr_j$  — «всегда выполняется процедура  $Br_j$ »;  $XBr_j$  — «в следующий момент времени будет выполняться процедура  $Br_j$ »;  $Br_i \cup Br_j$  — «Будет выполняться процедура  $Br_i$  до тех пор, пока не станет выполняться процедура  $Br_j$ », при  $i \neq j$ . Указанные операторы позволяют формализовать workflow-уровень модели. Для логической связи процедур в workflow — последовательности используем импликацию ( $\Rightarrow$ ) в следующем смысле «Если процедура  $Br_i$  выполнена, то процедура  $Br_j$  также выполнена», и эквиваленцию ( $\Leftrightarrow$ ), в смысле «процедура  $Br_i$  истинна тогда и только тогда, когда истинна процедура  $Br_j$ » [6]. Аналогично традиционной логике:  $Br_i \vee Br_j \Leftrightarrow \neg(\neg Br_i \wedge \neg Br_j)$ , а также  $Br_i \Rightarrow Br_j$  то же самое, что  $\neg Br_i \vee Br_j$ . Также,  $Br_i \vee \neg Br_i$  означает, что бизнес-процедура  $Br_i$  выполнена или не выполнена. Если связь между состояниями прямая, то используется оператор истины (true), если не прямая, тогда ложь (false) [6].

Таким образом, предложенная логическая модель позволяет сочетать декларативное многоуровневое представление бизнес-процессов с логическим описанием последовательности процедур и обеспечивает использование знаний в виде правил.

### Выводы

В работе предложен и обоснован логический подход к формализации многоуровневого представления бизнес-процессов, ориентированный на решение задач интеллектуального анализа БП (process mining). Предложенный подход основан на представлении в виде логических формул средствами СТЛ\* логики как собственно модели бизнес-процесса, так и знаний о порядке выполнения процедур БП, порядке обработки объектов бизнес-процесса, взаимосвязи между процедурами. Данный подход создает условия для реализации жизненного цикла БП и непрерывного их улучшения с учетом сравнительной оценки стоимости и времени выполнения различных вариантов реализации процессов.

Полученная логическая модель представления бизнес-процесса отличается от существующих единым формальным описанием различных уровней БП, порядком выполнения процедур процесса, а также знаний об их функционировании.

С одной стороны, предложенная модель обеспечивает возможность решения ряда задач управления БП: анализ и оптимизация бизнес-процесса по заданным показателям эффективности; формирование эффективной системы управления, основанной на процессном подходе; разработка

нормативных документов, регламентирующих технологию выполнения бизнес-процесса (либо его отдельных элементов); подготовка к созданию и внедрению системы управления бизнес-процессами.

С другой стороны, разработанная модель создает возможности для реализации формализованного подхода к формированию и верификации описания бизнес-процессов на основе интеллектуального анализа процессов.

**Список литературы:** 1. Репин, В.В. Процессный подход к управлению Моделирование бизнес-процессов [Текст]: учеб./ В.В. Репин В.Г., Елиферов. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. — 408 с. ISBN 5-94938-018-5. 2. Trends in Business Process Analysis: From Verification to Process Mining [Text]: Proceedings of the 9th International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS, 2007. Medeira/editors: Cordeiro J. Cardoso and J. Filipe. — Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication, INSTICC, Portugal, 2007. — pages 12–22. 3. Елиферов, В.Г. Бизнес-процессы: регламентация и управление [Текст]: учеб./ В.Г.Елиферов, В.В. Репин— М.:ИНФРА-М, 2005. — 319 с. 4. Левыкин, В.М. Формализованное описание бизнес-процессов в АИС [Текст] / В.М.Левыкин, С.Ф. Чалый //Штучний інтелект. — 2003. — № 2. — С. 28–34. 5. Калянов, Г.Н. Теория и практика реорганизации бизнес-процессов [Текст]: учеб./ Г.Н.Калянов. — М.: СИНТЕГ, 2000. —212 с. 6. Allen Emerson E. Temporal and modal logic [Text]:/ Allen Emerson. Computer Sciences Department University of Texas, Austin, 1995. — 68 p. 7. Левыкин, В.М. Модели представления знаний для бизнес-процессов с изменяемой структурой [Текст] / В.М.Левыкин, С.Ф. Чалый // Бионика интеллекта. — 2008. — № 1(68). — С.40–44.

Поступила в редколлегию 19.02.2010 г.

УДК 007.5

**Логічна модель представлення бізнес-процесу для вирішення задач інтелектуального аналізу процесів / В.М.Левикін, С.Ф.Чалий, Г.О. Кривчикова, С.М. Селезньов // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2010. — № 1 (72). — С. 24–28.**

В статті обговорюється підхід до формалізації багаторівневого представлення бізнес-процесів. Отримана модель забезпечує можливість вирішення задач управління бізнес-процесів. Використання запропонованих правил створює умови для виконання реорганізації бізнес-процесів із змінною структурою.

Л. 2. Бібліогр.: 7 найм.

UDC 007.5

**Logical model business process representation for solving problems of intellectual analysis process / V.M. Levikin, S.F. Chaliy, G.O. Kryvchikova, S.M. Selesniyov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2010. — № 1 (72). — P. 24–28.**

An approach to formalization of multi-representation of business processes is discussed. The resulting model enables solving the management of business processes. The use of the offered rules creates terms for implementation of reengineering of business-processes with a variable structure.

Fig. 2. Ref.: 7 items.