

В. М. Левыкин, доктор технических наук,
заведующий кафедрой информационных
управляющих систем Харьковского
национального университета радиозлектроники
О. В. Чалая, кандидат экономических наук,
доцент кафедры информационных
управляющих систем Харьковского
национального университета радиозлектроники

МЕТОД ЭКСТЕРНАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЕЕМКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Рассмотрена проблема формализации и последующего использования в процессном управлении персональных знаний исполнителей. Такие знания применяются при управлении ходом выполнения знаниеемких бизнес-процессов. Предложен метод экстернализации знаниеемких процессов на основе анализа его лога, который включает в себя этапы выявления таких составляющих: артефактов контекста; статических зависимостей между артефактами и их атрибутами; зависимостей между значениями атрибутов контекста и действиями процесса. Метод позволяет выявить и преобразовать в форму бизнес-правил скрытые в логах зависимости между состоянием контекста и действиями процесса с тем, чтобы потом включить эти зависимости в контур управления бизнес-процессом.

Ключевые слова: знаниеемкий бизнес-процесс; интеллектуальный анализ процессов; процессное управление.

Розглянуто проблему формалізації та подальшого використання в процесному управлінні персональних знань виконавців. Такі знання застосовуються під час управління ходом виконання знаннємістких бізнес-процесів. Запропоновано метод екстерналізації знаннємістких процесів на основі аналізу його логу, що включає етапи виявлення таких його складових: артефактів контексту; статичних залежностей між артефактами та їх атрибутами; залежностей між значеннями атрибутів контексту та діями процесу. Метод дозволяє виявити і перетворити у форму бізнес-правил приховані у логах залежності між станом контексту і діями процесу з тим, щоб потім включити ці залежності в контур управління бізнес-процесом.

Ключові слова: знаннємісткий бізнес-процес; інтелектуальний аналіз процесів; процесне управління.

The paper considers the problem of formalization and subsequent use of personal knowledge of performers in the process management. Such knowledge is used in the management of knowledge-intensive business processes [1]. Knowledge workers may

© В. М. Левыкин, О. В. Чалая, 2016

decide to change the workflow process using the implicit rules that reflect the personal tacit knowledge. Such knowledge has not a symbolic form of representation, so the traditional knowledge engineering approaches do not allow externalizing it. At the same time there is a possibility of externalizing embedded tacit knowledge using process mining techniques. Process mining techniques use business process logs for the externalization of the links between the actions of the process [2]. Log contains information about the artifacts of the process that allows us to find links between the artifacts and the state of the process activities. These links can then be presented in the form of business rules.

The method that is intended to externalize the knowledge-intensive processes using process mining techniques is proposed. The method includes the steps of identifying the following components: the artifacts of context; static dependencies between different artifacts or their attributes; dependencies between the values of context attributes and process actions.

Proposed method allows revealing and transforming into the business rules the hidden relationships between the state of the context and the actions of process in order to later include these dependencies in business process control loop.

Key words: knowledge-intensive business process; intelligent process analysis; process management.

Постановка проблемы. Процессное управление предприятием предполагает построение и использование моделей бизнес-процессов (далее – БП), каждый из которых содержит набор последовательностей действий по решению функциональной задачи предприятия [1]. Одна из проблем, которые рассматриваются в рамках процессного управления, состоит в непрерывном совершенствовании априорно определенных моделей бизнес-процессов. Эта проблема связана со снижением адекватности моделей БП с течением времени в силу постоянных эволюционных изменений в деятельности предприятия [2]. Такие изменения отражают как эволюцию среды деятельности предприятия, так и влияние сотрудников предприятия на ход процесса.

Особенно существенным влияние исполнителей оказывается для знаниеемких бизнес-процессов (далее – ЗБП). Знаниеемкие бизнес-процессы отличаются наличием уровня знаний, используемых для управления последовательностью действий процесса [3]. Ключевая особенность ЗБП состоит в том, что исполнители могут принимать решения об изменении последовательности действий процесса с использованием неявных правил, которые отражают личные неформальные (tacit) знания. Такие знания не имеют символьной формы представления, поэтому традиционные подходы инженерии знаний не позволяют их формализовать [4].

Изложенное свидетельствует об актуальности проблематики экстернализации (преобразования в явную форму) знаний исполнителей знаниеемких бизнес-процессов и последующего включения полученных формальных зависимостей в модель процесса.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследования в области использования персональных неявных знаний при управлении бизнес-процессами проводятся около двух десятилетий. Изначально основное внимание уделялось

организации работы специалистов, обладающих знаниями (knowledge workers), а также получению максимального эффекта от использования этих знаний. В соответствии с указанным подходом знание рассматривалось прежде всего как результат работы такого бизнес-процесса, а не как средство обеспечения его нормального функционирования [5; 6].

Современный подход к описанию знаниеемких (knowledge-intensive) бизнес-процессов связан с учетом неявной составляющей знаний при управлении БП, а также особенностей трансформации знаний между явной и неявной формами [3; 7]. Ключевое отличие ЗБП от традиционных бизнес-процессов заключается в использовании персональных знаний коллектива сотрудников при управлении ходом процесса для достижения заданных показателей эффективности [8–10].

В рамках существующих workflow – моделей ЗБП персональные знания отображаются парой (объект знаний, исполнитель). Объект знаний содержит краткую характеристику знаний, используемых исполнителем [3]. Знания при таком подходе характеризуются количественными показателями, отражающими степень использования опыта, профессиональных навыков, контекстных зависимостей [11]. Однако сами правила управления бизнес-процессом представлены в неявной форме и поэтому не включены в формальную модель ЗБП.

Для включения персональных неявных знаний исполнителей необходимо преобразовать их в явную форму. Формальные подходы к экстернализации неявных персональных знаний исполнителей пока разработаны недостаточно [12].

В то же время существует возможность построения управляющих бизнес-правил на основе экстернализации встроенных неявных знаний [12; 13]. Последние отражают применение персональных знаний людей при управлении ходом ЗБП и поэтому содержатся в записях логов бизнес-процесса. Такие логи (журналы регистрации событий) формируются процессной информационной системой и содержат “следы” выполнения каждой реализации бизнес-процесса.

Для построения моделей выполняющихся бизнес-процессов используют методы интеллектуального анализа процессов (process mining) [14]. Существующие методы интеллектуального анализа процессов обычно направлены на выявление алгоритма действий процесса на основе выявления зависимостей между записями событий в логе без учета состояния обрабатываемых объектов [15]. Вопросы экстернализации зависимостей, определяющих ход выполнения БП в конкретном контексте, исследованы недостаточно.

Цель статьи – разработка метода экстернализации знаний для знаниеемких бизнес-процессов с тем, чтобы их можно было представить в форме управляющих бизнес-правил, а также правил, задающих ограничения на выполнение бизнес-процесса.

Для достижения данной цели необходимо выполнить структуризацию знаниеемкого бизнес-процесса, размещенного в логе исходных данных, а также выделить особенности ограничений и управляющих зависимостей.

Изложение основного материала. Знаниеемкие процессы, как было показано выше, отличаются использованием персональных знаний исполнителей для корректировки их поведения с учетом текущего состояния ЗБП. Это приводит к возникновению различий между формальной моделью процесса и его текущим выполняющимся экземпляром.

Состояние ЗБП объединяет состояние всех объектов, которые используются при его выполнении. Выбор действий осуществляется исполнителем или коллективом исполнителей на основе информации о текущем состоянии этих объектов, знаний о типовой последовательности работ и о влиянии контекста на ход процесса.

Предлагаемая структуризация знаниеемкого бизнес-процесса основана на выделении таких составляющих:

- контекст выполнения ЗБП, состоящий из набора объектов, используемых в ходе реализации процесса, либо которые влияют на ход его выполнения, – такие объекты обычно называют артефактами;
- знания о выполнении процесса, которые включают в себя ограничения на его выполнение, а также правила управления;
- множество последовательностей действий процесса, каждая из которых соответствует одному экземпляру, реализуемому в условиях конкретного состояния контекста.

Тогда ЗБП можно определить следующим образом:

$$BP = \langle Ct, Kn, Wf \rangle, \quad (1)$$

где Ct – контекст бизнес-процесса;

Kn – набор связей между контекстом и действиями в форме ограничений и правил выбора действий;

Wf – алгоритм действий бизнес-процесса.

Контекст включает в себя множество классов артефактов AF , а также связи между артефактами) $R_{Rl}: Ct = \langle AF, R_{Rl} \rangle$.

$$Ct = \langle AF, R_{Rl} \rangle, \quad (2)$$

где AF – множество классов артефактов;

R_{Rl} – связи между артефактами, которые задают ограничения на выполнение бизнес-процесса.

На первом уровне артефакты контекста $Af \in AF$ описываются набором значений их атрибутов:

$$Af = \{ (a_i, V_i | \forall k \neq i V_i \cap V_k = \emptyset) \}, \quad (3)$$

где Af – класс артефактов;

a_i – атрибут всех артефактов класса;

V_i и V_k – множества допустимых значений для атрибутов a_i и a_k соответственно.

Отметим, что действия процесса также целесообразно рассматривать в качестве артефактов контекста, поскольку действия характеризуются набором атрибутов (название, состояние и т. п.) и используются в ходе процесса точно таким же образом, как и все остальные объекты.

Составляющая знаний содержит набор правил Rl_{Pc} , связывающих атрибуты артефактов контекста с действиями либо наборами действий (подпроцессами), а также правила взаимодействия процессов $Rl_{Cm} : Kn = \langle Rl_{Pc}, Rl_{Cm} \rangle$. Такие зависимости соответствуют управляющим правилам.

Правило $rl_{Pc} \in Rl_{Pc}$ задает контекстные условия для запуска одного или нескольких действий, что в логике отражается цепочкой событий:

$$rl_{Pc} : \bigvee_{l \in L} \left(\bigvee_{i \in I} af_{m,i}^l \right) \rightarrow \left(\succ_s^{s+n} e_s \right), \quad (4)$$

где L – количество артефактов, которые используются в условии правила в момент времени m ;

n – количество действий подпроцесса данного правила;

S – состояние, в котором начинает выполняться подпроцесс.

В том случае, если необходимо задать зависимости для конкретного события, то в правиле (4) необходимо установить $s = m$.

В знаниеемких бизнес-процессах они могут быть представлены как в явной, так и в неявной форме. Экстернализация таких зависимостей позволяет повысить адекватность модели процесса, что создает условия для тиражирования БП, снижения требований к уровню знаний персонала и т. п.

В рамках данной работы рассматриваются зависимости R_{Rl} и Rl_{Pc} . Информация, необходимая для экстернализации этих зависимостей, представлена в логике одного процесса. Для выявления зависимостей Rl_{Cm} необходимо сравнивать логи нескольких процессов.

Третий уровень содержит возможные последовательности действий, причем каждое действие также характеризуется набором атрибутов, например: наименование, исполнитель, обрабатываемый объект.

При записи лога такие последовательности фиксируются в виде последовательности событий, составляющих трассы процесса. Каждая последовательность событий отражает выполнение одного экземпляра процесса.

$$Wf = \bigcup_{k \in K} \left\{ (e_{k,s} \succ e_{k,s+1}) \mid s = \overline{1, S-1} \right\}, \quad (5)$$

где $e_{k,s} \succ e_{k,s+1}$ – последовательно выполнившаяся на трассе π_k пара событий;
 \succ – отношение переходов между событиями.

Изложенная структуризация позволяет определить знаниеемкий БП как многовариантный процесс, последовательность действий которого изменяется и дополняется во время выполнения на основе информации о его контексте в результате принятия решений исполнителями как носителями знаний.

Исходные данные для решения задачи экстернализации знаний представлены в виде логов (журналов регистрации событий) процессно-ориентированных информационных управляющих систем.

Для каждого бизнес-процесса формируется отдельный журнал событий, в котором записана информация обо всех известных вариантах выполнения БП (экземплярах процесса). Выполнение экземпляра процесса фиксируется в логе в виде упорядоченной последовательности событий ($e_{k,s} \succ e_{k,s+1}$), именуемой трассой. Трассы размещены в логе в произвольном порядке.

Информация о контексте бизнес-процесса и его состоянии хранится в логе в виде атрибутов событий. Такие атрибуты определяются в заголовке лога. Состав множества атрибутов события зависит от конкретного процесса. При записи лога с каждым событием связывается подмножество атрибутов и их значений.

Например, атрибут события в виде

`<string key="org:role" value="V3_2"/>`

содержит информацию о роли исполнителя БП, атрибут

`<string key="org:resource" value="Matt"/>`

указывает, что имя исполнителя "Matt". Оба атрибута характеризуют артефакт "Исполнитель".

Действие процесса представлено в логе точно так же, как и все остальные артефакты. Например, атрибут

`<string key="lifecycle:transition" value="In Progress"/>`

содержит информацию о том, что действие находится в состоянии выполнения, атрибут

`<string key="impact" value="High"/>`

указывает на то, что текущее действие оказывает сильное влияние на ход процесса и т. п.

Состав атрибутов лога зависит от предметной области. Однако практически всегда лог содержит информацию о таких артефактах, как операция, исполнитель, обрабатываемый объект. Также каждое событие содержит временную метку "time:timestamp".

Проведенная структуризация знаниеемкого бизнес-процесса позволяет сделать такие выводы:

– лог процесса содержит информацию об атрибутах артефактов, с которыми работает этот процесс, а также информацию о значениях этих атрибутов;

– в логе БП зафиксированы зависимости между артефактами (атрибутами артефактов), которые оказывают влияние на процесс. Эти зависимости характеризуют

свойства контекста, в котором выполняются действия процесса, и потому выступают в роли ограничений при выборе возможных действий;

– лог бизнес-процесса содержит последовательность событий, описываемых атрибутами артефактов, и поэтому в нем зафиксированы зависимости между свойствами артефактов и действиями процесса. Такие зависимости выражаются через связи между атрибутами (значениями атрибутов) используемых процессом объектов и атрибутами действий процесса, что позволяет сформировать из них управляющие бизнес-правила.

Таким образом, для экстернализации знаний, определяющих изменение хода выполнения процесса в конкретном контексте, необходимо определить:

- аргументы условий и действий, представленные свойствами артефактов;
- статические связи между свойствами артефактов, задающие ограничения на процесс;
- зависимости между значениями свойств объектов и действиями процесса, определяющие его поведение.

Изложенные особенности позволяют сформулировать метод экстернализации правил для ЗБП. В качестве входных данных метода используется лог знание-емкого бизнес-процесса при условии, что каждое событие лога характеризуется набором атрибутов артефактов контекста.

Предлагаемый метод экстернализации включает в себя такие этапы

Этап 1. Выявление элементов контекста ЗБП.

На данном этапе выполняется выявление элементов контекста $af \in Af$, которые характеризуются такими видами связей: устойчивыми связями только между контекстными составляющими, зависимостями между контекстными составляющими и действиями одного процесса, уникальными зависимостями для нескольких экземпляров процесса [16].

Критерием является частота совместного появления атрибутов. Результаты данного этапа содержат набор из событий, совместное появление атрибутов которых превышает заданный порог. Как уже отмечалось ранее, атрибуты событий лога соответствуют атрибутам артефактов бизнес-процесса.

Например, для бизнес-процесса транснациональной сервисной фирмы при выделении связей между атрибутами “concept:name” со значением “Queued” и “lifecycle:transition” со значением “Awaiting Assignment” для нескольких стран можно сравнить количество задержек, связанных с передачей ответственности работниками с ролью “V3_2”.

Этап 2. Выделение реляционных зависимостей R_{RI} между артефактами контекста, которые задают ограничения на возможные действия бизнес-процесса.

На данном этапе используется алгоритм FPG, применяемый в области data mining для установления ассоциативных зависимостей между объектами. Особенность данного этапа состоит в том, что зависимости устанавливаются как между артефактами в целом, так и между их атрибутами. Такая двухуровневая структура зависимостей позволяет не только сформировать ограничения на процесс, но и вы-

строить иерархию артефактов (например, подразделений предприятия), интегрируя тем самым процессный и функциональный подходы к управлению.

Этап 3. Выделение контекстно-процедурных зависимостей RI_{PC} между объектами и действиями процесса.

На данном этапе с использованием алгоритма AprioriAll, применяемого в области интеллектуального анализа данных, выделяются повторяющиеся последовательности событий, после чего устанавливается связь между атрибутами артефактов и полученными повторяющимися последовательностями [17].

Пример полученной в результате экстернализации зависимости имеет следующий вид [17]: ($resource\ country = Sweden \wedge org : resource = Tomas \wedge lifecycle : transition = InProgress\ N\ Wait\ N\ InProgress \Rightarrow e_4\ N\ e_5$). Данная зависимость показывает, что исполнитель *Tomas* реализует задержки в выполнении бизнес-процесса, то есть после состояния выполнения *InProgress* обязательно возникает ожидание *Wait*, после чего то же действие снова переходит в состояние *InProgress*.

Выводы с данного исследования и перспективы дальнейших исследований в данном направлении. Предложен метод экстернализации знаниеемких бизнес-процессов, который включает в себя этапы выделения артефактов контекста, статических зависимостей между артефактами и их атрибутами, а также зависимостей между значениями атрибутов контекста и действиями процесса. Метод позволяет выявить и преобразовать в форму бизнес-правил скрытые в логах зависимости между состоянием контекста и действиями процесса с тем, чтобы потом включить эти зависимости в контур управления бизнес-процессом.

Дальнейшее развитие предложенного подхода связано с разработкой технологии построения модели знаниеемкого бизнес-процесса и ее итеративной экстернализации методами интеллектуального анализа процессов.

Построение модели осуществляется на основе выделения подпроцессов (фрагментов ЗБП с предопределенной структурой), а также бизнес-правил, задающих ограничения, и правил выбора таких подпроцессов.

Экстернализация выполняется в рамках жизненного цикла бизнес-процессов средствами process mining. Реализация такой технологии требует разработки соответствующего плагина к открытой платформе интеллектуального анализа процессов ProM.

Список использованных источников:

1. Vom Brocke J. Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods and Information Systems / J. Vom Brocke, M. Rosemann. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 709 p.
2. Weske M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures / Weske M. – 2-nd ed. – Presented at Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. – 403 p.

-
3. Gronau N. Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice (English) / Gronau N. – Gito, 2012. – 522 p.
 4. Nonaka I. Tacit Knowledge and Knowledge Conversion: Controversy and Advancement) / I. Nonaka, G. von Krogh // *Organizational Knowledge Creation Theory. Organization Science*. – 2009. – Vol. 20 (3) . – P. 635–652.
 5. Davenport T. Improving Knowledge Work Processes / T. Davenport, S. Jarvenpaa and M. Beers // *Sloan Management Review*. Summer, 1996. – P. 53–66.
 6. Davenport T. Improving the Performance of People, Processes and Organizations / T. Davenport // *Harvard Business School Press*. – 2005. – 227 p.
 7. Gronau N. KMDL-Capturing, Analyzing and Improving Knowledge-Intensive Business Processes / N. Gronau, C.Müller, R. Korf // *Journal of Universal Computer Science*. – 2005. – № 11 (4). – P. 452–472.
 8. Richter-von Hagen C. Towards self-organizing knowledge intensive processes / C. Richter-von Hagen, D. Ratz, R. Povalej // *Journal of Universal Knowledge Management*. – 2005. – Vol. 2. – P. 148–169.
 9. Panian Z. A promising approach to supporting knowledge intensive business processes: business case management / Z. Panian // *World Academy of Science, Engineering and Technology*. – 2011. – Vol. 75. – P. 642–648.
 10. Isik O. Practices of knowledge intensive process management: quantitative insights / O. Isik, W. Mertens, J. Van den Bergh // *Business Process Management Journal*. – 2013. – Vol. 19, no. 3. – P. 515–534.
 11. A Proposal to Model Knowledge in Knowledge-Intensive Business Processes / N. Gronau, C. Thim and oth. // *BMSD 2016. Proceedings of the Sixth International Symposium on Business Modeling and Software Design*. – 20–22 June, Rhodes, Greece. – Vol. 16. – P. 98–103.
 12. El-Den J. A. Tacit knowledge externalization among geographically distributed small groups / El-Den J. A. – PhD Thesis's, University of Technology, Sydney, Australia, 2009. – 323 p.
 13. Leonard-Barton D. A. Wellsprings of Knowledge: Building and Sustaining the Sources of Innovation / Leonard-Barton D. – Boston : Harvard Business School Press, 1995. – 334 p.
 14. Van der Aalst W. M. P. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / Van der Aalst W. M. P. – Springer Berlin Heidelberg, 2011. – 352 p.
 15. Van der Aalst W. M. P. Process Mining in the Large: A Tutorial / W. M. P. Van der Aalst // *Business Intelligence*. – Springer Science + Business Media, 2014. – P. 33–76.
 16. Левыкин В. М. Выделение элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа логов / В. М. Левыкин, О. В. Чалая // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2016. – № 5/2 (31). – С. 65–71.
 17. Левыкин В. М. Выделение контекстно-процедурных зависимостей знание-емкого бизнес-процесса на основе анализа логов / В. М. Левыкин, О. В. Чалая // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2016. – № 6/1 (32). – С. 43–49.