

Левыкин В. М.,  
Чалая О. В.

## ВЫДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТЕКСТА ЗНАНИЕ-ЕМКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЛОГОВ

*Исследованы знание-емкие бизнес-процессы, которые характеризуются влиянием знаний исполнителей на последовательность действий процесса. Показано, что для повышения эффективности управления такими процессами необходимо формализовать знания исполнителей и включить их в модель процесса. Предложен метод выделения элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа логов, который создает условия для выявления знаний исполнителей.*

**Ключевые слова:** знание-емкий бизнес-процесс, интеллектуальный анализ процессов, процессное управление.

### 1. Введение

Реализация управления бизнес-процессами (БП) предполагает наличие модели таких процессов. В настоящее время различают два основных подхода к ее построению: создание модели «как должно быть» и разработка модели «как есть». В первом случае модель создается экспертами, на основании известной информации о процессе [1]. Однако для сложных многовариантных бизнес-процессов на этапе построения модели обычно доступна не вся исходная информация, что приводит к возникновению проблемы адекватности модели таких процессов. Для решения данной проблемы методами интеллектуального анализа процессов (process mining) [2] создается модель выполняющегося процесса «как есть». В качестве исходных данных при ее построении используются логи бизнес-процесса. Уточнение первой модели на основе анализа модели «как есть» позволяет повысить эффективность процессного управления.

В настоящее время при моделировании традиционных бизнес-процессов используется многоаспектное описание [3], которое включает в себя: последовательность действий; данные; ресурсы. Последовательность действий (workflow) фактически задает алгоритм работы процесса. Аспект данных включает в себя описание элементов данных, которые используют процесс, правила либо процедуры их создания, обработки, хранения [4]. Ресурсный аспект [5, 6] позволяет описать контекст выполнения бизнес-процесса. Контекст отражает текущие цели процесса, внешнюю среду, а также особенности организации, в которой выполняется БП [7]. Знание-емкие бизнес-процессы отличаются от традиционных процессов наличием аспекта знаний [8], что обеспечивает возможность адаптации к текущему состоянию внешней среды, динамически изменяющимся требованиям и целям с учетом контекста.

В связи с этим актуальными являются исследования, посвященные выявлению знаний, влияющих на последовательность действий процесса, на основе анализа записей об их выполнении.

При разработке соответствующих подходов необходимо учитывать особенности структуры лога, содержащего записи о поведении бизнес-процессов. Лог включает в себя набор трасс, отражающих однократное выполнение

процесса. Трасса содержит набор событий, отражающих выполнение действий процесса. События описываются набором значений переменных, характеризующих контекст бизнес-процесса. Поэтому при построении моделей знание-емких бизнес-процессов целесообразно использовать основанные на анализе логов подходы, которые применяются в области process mining [2].

Из сказанного следует, что актуальность исследования по выделению элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа их логов определяется необходимостью более эффективного управления такими процессами путем учета контекстно-ориентированных знаний, влияющих на ход их выполнения.

### 2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом данного исследования является знание-емкий (knowledge-intensive) бизнес-процесс. Отличительная особенность знание-емкого бизнес-процесса состоит в том, что на порядок его выполнения оказывают значительное влияние знания работников. При построении модели такого процесса, а также при его выполнении, совместно используются подходы управления знаниями и процессного управления.

Основная проблема моделирования и применения таких процессов связана с возможностью его изменения во время выполнения. Данная проблема определяется возможностью исполнителей (knowledge workers) изменять процесс на основе своих знаний согласно текущему контексту. Исполнители применяют как явные (формальные, общедоступные), так и личные (неявные) знания при принятии решений о выборе дальнейшего хода процесса. Контекст в данном случае рассматривается как виртуальная среда выполнения знание-емкого бизнес-процесса. Рассматриваемая проблема вызвана использованием неявных знаний, которые не отражены в документах и модели процесса. На применение таких знаний часто влияет мотивация и эмоциональное состояние исполнителя, что может снижать эффективность процессного управления.

Для выявления факторов, которые могут влиять на выполнение знание-емкого бизнес-процесса, проводился технологический аудит, который заключался в исследовании записей о выполнении таких процессов,

представленных в виде файлов логов в формате хес. Каждый лог содержит набор записей о выполнении экземпляров бизнес-процессов. Запись о выполнении экземпляра — трасса процесса — содержит последовательность событий, возникших в ходе его выполнения. Каждое событие характеризуется набором значений атрибутов, отражающих состояние контекста бизнес-процесса в момент его возникновения.

Проведенный аудит показал связь между значениями параметров событий и действиями процесса. Поэтому дальнейшее исследование лога процесса с целью выделения значений параметров событий, которые отражают влияние контекста на процесс, создает условия для выявления зависимостей между контекстом и ходом процесса. Эти зависимости отражают знания, которые использовались работником в ходе выполнения процесса. Поэтому их выявление и включение в модель процесса позволяет повысить эффективность процессного управления.

### 3. Цель и задачи исследования

*Цель исследования* — разработка подхода к повышению эффективности управления знание-емкими бизнес-процессами на основе выявления элементов контекста, которые могут влиять на ход его выполнения. Это позволило бы выполнить экстернализацию скрытых зависимостей, оказывающих влияние на ход выполнения процесса, включить их в модель процесса и тем самым повысить эффективность процессного управления.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Провести анализ подходов к построению моделей знание-емких бизнес-процессов на основе исследования записанного в логах их поведения.
2. Разработать метод выделения элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа их логов.

### 4. Анализ литературных данных

Применение существующих методов process mining к знание-емким процессам приводит к созданию spaghetti-like — моделей последовательности действий БП [2]. Последние получили такое название потому, что при графическом представлении имеют вид блюда со спагетти. Модель отображается в виде графа с большим количеством (сотнями) переплетенных связей между вершинами. Вершины отражают действия процесса, а дуги — переходы между действиями.

При анализе графа последовательности действий БП обычно решают задачи выявления причинно-следственных связей между действиями процесса, получения обобщающей информации о бизнес-процессе, сравнения графов процессов, выявления шаблонов выполнения действий и т. п. Однако при увеличении количества вершин и дуг выше определенного порога (обычно несколько десятков вершин) значительно падает способность восприятия и обработки таких графов человеком [9]. Поэтому анализ и практическое использование полученного спагетти-представления последовательности действий БП вызывают значительные трудности.

Традиционные методы process mining формируют спагетти-модели по следующим причинам. Во-первых, большинство методов process mining направлено на построение моделей процессов с неизменной структурой, причем основное внимание уделяется workflow — аспекту БП,

а не аспекту ресурсов [5]. При построении модели используются записанные в логах последовательности событий, и не используется априорная информация о процессе [2, 10, 11]. Поэтому указанные методы не учитывают отклонения в последовательности действий БП в зависимости от текущих целей, типа процесса (ограничений на процесс), состояния организации, в которой выполняется процесс, а также состояния внешней для процесса среды. Иными словами, такие методы не учитывают контекст действий процесса [7]. Состояние контекста обычно отражается в логе в виде атрибутов событий.

Во-вторых, логи процесса содержат события с различной степенью детализации. Смещение таких событий с разной грануляцией приводит к построению спагетти-модели. В такой модели на одном уровне размещаются действия, которые в действительности выполняются на различных уровнях иерархии организации, в которой реализуется БП. Существующий адаптивный подход к построению модели БП использует частоту появления событий и расстояния между ними на шкале времени [12] и не учитывает остальные атрибуты события в логе.

Проведенный анализ литературных источников позволяет сделать вывод о том, что существующие методы интеллектуального анализа процессов используют только атрибут времени событий в логе и не учитывают влияние контекста на порядок выполнения процесса. В то же время, учет влияния контекста на последовательность действий является особенно актуальным для знание-емких БП в силу того, что в них используются знания для трансформации таких процессов. Поэтому выявление элементов контекста создает возможности для усовершенствования моделей таких процессов.

### 5. Материалы и методы исследования

Ключевым отличием знание-емких процессов является право работников изменять алгоритм действий процесса на основе использования собственных знаний, как явных, так и неявных. Поэтому проблематика управления и усовершенствования требует рассмотрения порядка применения знаний. Такие знания могут применяться двояко: с одной стороны для поддержки выполнения БП, а с другой — знания являются результатов выполнения процесса. Для традиционных БП с predetermined структурой знания используются только для поддержки процесса. В то же время для знание-емких бизнес-процессов знания могут выступать и в качестве результата процесса. Особенностей применения знаний в БП представлены в табл. 1.

Приведенные особенности применения знаний исполнителями показывают важность контекстно-ориентированного подхода к построению моделей знание-емких бизнес-процессов. Предлагаемый контекстно-ориентированный подход направлен на экстернализацию (преобразование в явную, формальную форму) знаний о таких процессах. В соответствии с предлагаемым подходом, первоначально производится обработка лога процесса. При обработке лога выделяются его фрагменты, которые содержат повторяющиеся последовательности событий с заданными значениями атрибутов, отражающих контекст выполнения процесса. Последующий анализ выделенных фрагментов лога позволяет получить зависимости, которые определяют поведение знание-емкого процесса в зависимости от контекста.

Таблица 1

Применение знаний исполнителями знание-емких БП

Используются для поддержки БП		Являются результатом знание-емкого БП	
Назначение и особенности знаний	Вид знаний	Назначение и особенности знаний	Вид знаний
Используются при выполнении типовых повторяющихся действий процесса в предопределенном контексте	явные	Используются при принятии решений о формировании, выполнении, выборе либо изменении последовательности действий процесса с учетом текущего контекста	явные, неявные
Представлены в виде формальных правил и процедур	явные	Зависят от личности и компетентности исполнителя, знания не формализованы и не представлены в документах	неявные
Легко автоматизируются в силу повторяемости действий и формальных правил их выполнения	явные	Представляются в недокументированной форме и потому с трудом поддаются автоматизации	неявные
Выполняют исполнители с низкой квалификацией	явные, неявные	Выполняют исполнители с очень высокой квалификацией	явные, неявные

Затем необходимо сравнить шаблоны поведения процесса в различном контексте.

По результатам сравнения выделяются различия в действиях процесса. Данные различия содержат не выделенные ранее знания.

Таким образом, в результате сравнения контекстных зависимостей и паттернов поведения можно выполнить экстернализацию контекстно-зависимых неявных знаний. Например, при рассмотрении такой составляющей контекста как цели, можно выделить зависимости, отражающие эффективную работу исполнителей и затягивание времени обработки заданий либо обмен клиента.

Данную задачу, в частности, рассматривает в качестве приоритетной ИТ-подразделение фирмы Volvo,

осуществляющее сервисное обслуживание ИТ-клиентов в различных странах. Руководство подразделения предоставило в открытый доступ логи бизнес-процессов сервисного обслуживания в Швеции, Франции, Бразилии, Китае для анализа и получения контекстно-зависимых знаний. Выявление таких знаний необходимо, например, чтобы получить ответы на вопросы: «Почему эффективность подразделения в Швеции выше, чем в других странах при использовании унифицированных бизнес-процессов? Не является ли перебрасывание ответственности между сотрудниками причиной задержек в обслуживании?».

## 6. Результаты исследований

Разработанный метод направлен на последовательное выявление элементов контекста с различными видами связей: устойчивыми связями только между контекстными составляющими, зависимостями между контекстными составляющими и действиями одного процесса и уникальными зависимостями для нескольких экземпляров процесса (либо нескольких процессов). Общая последовательность этапов предлагаемого метода, исходные данные и результаты этих этапов приведены в табл. 2.

Рассмотрим этапы данного метода более формально, а также проиллюстрируем выполнение данного метода на примере лога процессов сервисного обслуживания ИТ-подразделения фирмы Volvo. Исходный лог представлен в формате `hex` и состоит из блоков трасс  $\pi_k$ , отмечаемых как `<trace>`, фиксирующих выполнение экземпляра процесса и событий  $e_i$ , отмечаемых как `<event>` и фиксирующих выполнение отдельных операций, как показано на рис. 1.

Трасса обладает наименованием, которое кодируется в форме последовательности символов, в данном примере последовательностью чисел: «1-467153946».

Каждое событие содержит набор атрибутов  $A_i$ , указывающих на исполнителей (`org:resource`), обрабатываемое изделие (`product`), наименование операции (`concept:name`), ее текущее состояние (`lifecycle:transition`), а также временную метку (`time:timestamp`). Форма описания исходного события приведена на рис. 2.

Таблица 2

Основные этапы метода

№	Наименование этапа	Исходные данные	Результат этапа
1	Предварительная обработка лога с целью выделить фрагменты с искомыми контекстными зависимостями.	Лог, информация о контексте в форме набора искомого атрибутов событий и подмножества допустимых значений для каждого атрибута. Может использоваться онтология предметной области	Фрагменты логов, связанные с исходным контекстом
2	Выявление элементов контекста, которые связаны с бизнес-процессом и обладают статическими взаимосвязями, путем сопоставления атрибутов событий фрагментов лога	Результаты этапа 1, порог $\varepsilon_1$ появления в логе событий с заданными атрибутами	Подмножества событий, между атрибутами которых могут существовать реляционные зависимости
3	Выявление элементов контекста, которые влияют на поведение процесса (либо на которые влияют действия процесса), путем выявления изменяющихся атрибутов для последовательностей событий	Результаты этапа 2, порог $\varepsilon_2$ появления в логе последовательностей событий с изменяемыми значениями атрибутов	Подмножества последовательностей событий, между атрибутами которых могут существовать реляционные зависимости
4	Сравнение результатов 2 и 3 этапов для различных наборов исходных данных целью выявить общие и уникальные для отдельных трасс элементы контекста	Результаты этапов 2 и 3	Общие элементы контекста, для различных трасс процесса в случае традиционных БП, или же уникальные для отдельных трасс в случае знание-емких бизнес-процессов

```
<trace>
<string key="concept:name" value="1-467153946"/>
<event>
...
</event>
...
<event>
...
</event>
</trace>
```

Рис. 1. Структура трассы исходного лога

```
<event>
  <string key="org:group" value="S42"/>
  ...
  <date key="time:timestamp" value="2011-01-31T11:12:22+01:00"/>
</event>
```

Рис. 2. Структура события лога

Характеризующий полный лог бизнес-процесса набор атрибутов объединяет пересекающиеся подмножества атрибутов отдельных событий БП:

$$A = \cup A_i, \cap A_i \neq \emptyset, \quad (1)$$

где  $A$  — набор атрибутов событий, содержащийся в логе процесса;  $A_i$  — подмножество атрибутов отдельного события  $e_i$ .

Контекст бизнес-процесса в логе описывается набором атрибутов событий, а также множеством возможных значений таких атрибутов:

$$\begin{aligned} Ct &= (A = \{a_j\}, V = \{v_j\}, R), \\ R: A &\rightarrow V, \forall a_j \in A \exists v_j \in V, v_j = \{v_{j,1}\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $Ct$  — описание контекста в логе процесса;  $V$  — множество возможных значений атрибутов событий процесса;  $v_j = \{v_{j,1}\}$  — множество возможных значений  $v_{j,1}$  атрибута  $a_j$ .

Исходные данные для первого этапа включают в себя лог  $L = \{\pi_k\}$  и искомый контекст  $Ct^* \subseteq Ct$ , представленный подмножеством атрибутов событий, а также значений атрибутов:

$$Ct^* = (A^*, V^*, R) | \forall a_j \in A^* \exists v_j^* \in V_j, A^* \subseteq A, v_j^* \in V^*, \quad (3)$$

где  $Ct^*$  — подмножество элементов контекста, которые используются в качестве входных данных;  $A^*$  — подмножество атрибутов событий, используемых для выделения трасс лога.

На первом этапе выполняется поиск трасс лога, события которых связаны с задаваемым в качестве входных данных контекстом. В силу уникальности трасс знание-емких БП, формируемых посредством применения знаний исполнителей, в качестве искомым фрагментов лога рассматриваются трассы процесса, а не просто отдельные последовательности событий.

Результат первого этапа включает в себя набор трасс, у которых контекст задается элементами множества  $Ct^*$ . В частности, для задачи поиска неэффективных исполнителей процессов сервисного обслуживания в ИТ-подразделение фирмы Volvo в качестве входных данных целесообразно указать: страна, бизнес-процессы в ко-

торой будут проанализированы; перечень продукции, по которой наблюдаются задержки.

Соответственно, начальное подмножество атрибутов имеет вид:  $A^* = ("resource\ country", "product")$ . Множество значений атрибутов задает ограничения по допустимым наименованиям страны и продукта.

Для иллюстрации работы метода зададим следующие множества значений:

$$V^* = \{{"France"}, {"PROD582"}, {"PROD790"}, {"PROD423"}, {"PROD267"}, {"PROD436"}\}.$$

Отображение  $R$  связывает наименования атрибутов и подмножеств их значений, поэтому для страны выполняется:  $v_{resource\ country} = {"France"}$ , а для продукта:

$$v_{product} = {"PROD582"}, {"PROD790"}, {"PROD423"}, {"PROD267"}, {"PROD436"}.$$

Результатом первого этапа является подмножество исходного лога, содержащее перечень трасс экземпляров процесса, события которых содержат заданный набор атрибутов и их значений:

$$L^1 = \{\pi_k | \forall e_i \in \pi_k a_{i,j} \in A^* \wedge v_j^* \in V^*\}. \quad (4)$$

При реализации первого этапа для лога процесса сервисного обслуживания при заданных исходных данных результатом первого этапа являются трассы, которые зафиксировали выполнение сервисного обслуживания по продуктам из  $V^*$  во Франции. Такой список при заданных входных данных включает в себя следующие трассы: {1-364285768, 1-603556351, 1-623778166, 1-652256138, 1-658538636, 1-660051308}.

На втором этапе выполняется поиск элементов контекста, между которыми могут быть статические связи. Исходными данными этапа является подмножество трасс  $L^1$ . Элементы контекста задаются в логе атрибутами событий. Это означает, что статические связи между элементами контекста сводятся к связям между атрибутами событий. Поэтому на данном этапе выполняется поиск таких подмножеств значений атрибутов, доля событий с которыми в исходном логе процесса превышает заданный порог  $\epsilon_1$ :

$$\begin{aligned} V^2 &= \{v_i\}, |v_i| > 1: \forall (v_{i,j}, v_{i,n} \in v_i) \frac{|e_i|}{|E|} > \epsilon_1, \\ &|\forall e_i \exists v_{i,j} \in v_i, e_i \in \pi_k, \pi_k \in L^1, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $V^2$  — искомое множество значений атрибутов  $v_i$ ;  $v_i$  — множество значений атрибутов события  $e_i$ ;  $v_{i,j}, v_{i,n}$  — значения атрибутов  $a_{i,j}$  и  $a_{i,n}$  события  $e_i$ ;  $\epsilon_1$  — пороговый уровень для отбора событий со значениями атрибутов из множества  $v_i$ ;  $E$  — количество событий в исходном логе  $L$ .

Результатом данного этапа является множество событий, значения атрибутов которых удовлетворяют условию (5):

$$E^2 = \{e_i | v_i \subset V^2\}, \quad (6)$$

где  $E^2$  — подмножество событий со значениями атрибутов из  $V^2$ .

Эти связи отражают зависимости реляционного типа, как было показано ранее. В дальнейшем экстернализация таких зависимостей позволяет выявить связи между объектами предметной области, которые могут влиять на последовательность действий бизнес-процесса.

При реализации второго этапа для подмножества трасс  $L^1$  лога процесса сервисного обслуживания выполняется поиск событий, частота совместного появления значений атрибутов которых превышает заданный порог. В частности, в рассматриваемом логе сервисного обслуживания в 40 трасс процесса включено 1141 событие — т. е.  $|E| = 1141$ .

Комбинация атрибутов и значений  $org:role = "V3\_2"$ , а также  $resource\ country = "France"$  встречается 209 раз, что при установленном пороге  $\epsilon_2 = 0,1$  позволяет включить ее в подмножество  $v_i \subset V^2$ , соответствующие события — в множество  $E^2$ . В дальнейшем данное подмножество может быть проанализировано средствами data mining, однако даже из приведенного примера видно, что в международном разделении труда на данной фирме сотрудники из Франции специализируются на выполнении в бизнес-процессе сервисного обслуживания роли "V3\_2".

Результаты этапа для данного примера включают в себя перечень событий с  $org:role = "V3\_2"$ , а также  $resource\ country = "France"$  в хес-формате, как показано на рис. 3.

На третьем этапе выполняется поиск элементов контекста, которые могут влиять на выполнение либо приостановку, завершение действия бизнес-процесса. Любое изменение процесса фиксируется в логе в виде событий. В то же время процесс влияет на контекст. Поэтому выполняется цепочка контекст -> действие процесса (событие в логе) -> новый контекст. Иными словами, влияние контекста на последовательность действий процесса отражается через изменение самого контекста. Последний представлен в логе атрибутами событий. Следовательно, на данном этапе необходимо найти последовательности событий, которые характеризуются изменением значения как минимум одного атрибута, причем количество появления таких пар в логе должно превышать заданный порог:

$$\begin{aligned} E^3 &= \{E_s\}, \\ |E_s| &> 1: \frac{|E_s|}{|E| \times \max(|A_s|)} > \epsilon_2, \\ |\forall (e_i \succ e_{i+1}) \in E_s \exists (v_{i,j} \neq v_{i+1,j})|, \\ A_s &= \{a_{s,j}\}, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $E^3$  — результирующий набор подмножеств событий;  $E_s$  — подмножество событий из одной трассы, связанных отношением перехода, для которых изменился хотя бы один атрибут события;  $A_s$  — множество наборов изменяющихся атрибутов  $a_{s,j}$  событий из множества  $E_s$ ;  $E$  — множество всех событий лога;  $\succ$  — отношение перехода;  $\epsilon_2$  — пороговый уровень для отбора последовательностей событий,  $e_i \succ e_{i+1}$  означает, что события  $e_i$  и  $e_{i+1}$  размещены последовательно в одной трассе лога;  $v_{i,j}, v_{i+1,j}$  — значения  $j$ -атрибута событий  $e_i$  и  $e_{i+1}$  соответственно.

Пример представления результатов данного этапа приведен на рис. 4.

На четвертом этапе выполняется сравнение результатов 2 и 3 этапов для различных исходных данных. Поэтому данный этап выполняется после многократного выполнения этапов 1–3 с разными наборами входных данных.

Цели такого сравнения отличаются для традиционных процессов с жестко заданной структурой и для знание-емких процессов. Для традиционных БП задача анализа состоит в том, чтобы найти такие элементы контекста, которые являются общими для различных трасс процесса. Это позволит выделить наиболее общие зависимости, которые определяют типовые последовательности действий при выполнении бизнес-процесса. Поэтому результаты определяются следующим образом:

$$E_{BP}^{4,2} = \cap E_n^2, E_{BP}^{4,3} = \cap E_n^3, \quad (8)$$

```
<event>
...
<string key="resource country" value="France"/>
...
<string key="org:role" value="V3_2"/>
...
<date key="time:timestamp" value="2012-02-03T11:04:14+01:00"/>
</event>
```

Рис. 3. Пример события с отобранными по результатам этапа 2 значениями атрибутов

```
<event>
...
<string key="resource country" value="France"/>
...
<string key="org:resource" value="Guy Andre"/>
...
<string key="org:role" value="V3_2"/>
<string key="concept:name" value="Queued"/>
...
<string key="lifecycle:transition" value="Awaiting Assignment"/>
<date key="time:timestamp" value="2012-02-03T11:05:35+01:00"/>
</event>
<event>
...
<string key="resource country" value="France"/>
...
<string key="org:resource" value="Magalie"/>
...
<string key="org:role" value="V3_2"/>
<string key="concept:name" value="Accepted"/>
...
<string key="lifecycle:transition" value="In Progress"/>
<date key="time:timestamp" value="2012-02-03T11:59:04+01:00"/>
</event>
```

Рис. 4. Последовательность событий с изменяемым значением атрибутов "org:resource", "concept:name", "lifecycle:transition"

где  $E_{BP}^{4,2}$  — результирующее множество, которое включает события со связями между элементами контекста;  $E_{BP}^{4,2}$  — результирующее множество, которое включает события со связями между элементами контекста и действиями процесса;  $E_n^2, E_n^3$  — результаты этапов 2 и 3 соответственно для  $n$ -набора исходных данных.

Знание-емкий бизнес-процесс характеризуется влиянием исполнителей на последовательность действий. При анализе необходимо найти зависимости, которые отражают такие решения в логике процесса. Поэтому во втором случае задача состоит в том, чтобы найти элементы контекста, которые характерны для подмножеств трасс процесса. В данном случае выбирается два подмножества исходных данных: для тех трасс процесса, которые содержат искомым результатов и для типовых трасс процесса. Из результатов этапов 1–3 удаляются элементы, которые содержат типовое поведение. Последнее характерно для второй группы результатов:

$$E_{KBP}^{4,2} = (\cap E_s^2) \setminus (\cap E_n^2), E_{KBP}^{4,3} = (\cap E_s^3) \setminus (\cap E_n^3), \\ s = \overline{1, S}, n = \overline{1, N}, \quad (9)$$

где  $E_{KBP}^{4,2}$  — результирующее множество, которое включает события со связями между элементами контекста для знание-емкого процесса;  $E_{KBP}^{4,3}$  — результирующее множество, которое включает события со связями между элементами контекста и действиями процесса для знание-емкого процесса;  $E_s^2, E_n^2, E_s^3, E_n^3$  — результаты этапов 2 и 3 соответственно для  $s$ - и  $n$ -наборов исходных данных.

Реализация последнего этапа для рассматриваемого лога позволяет создать, в частности, набор событий, связанный с передачей заказа от одного сотрудника к другому. Исследование такого набора поможет выявить причины несвоевременного обслуживания. Например, при анализе рассматриваемого лога путем сопоставления атрибутов «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». Последняя будет определяться количеством элементов множества  $E_{KBP}^{4,3}$ . При нахождении страны, количество задержек для которой является максимальным, необходимо выполнить детализацию зависимостей — в частности, с учетом имен исполнителей либо кода обрабатываемого продукта. Для этого дополняется перечень входных атрибутов и их значений, после чего выполняются этапы метода.

Таким образом, итеративное применение предлагаемого метода позволяет выделить представленные атрибутами событий элементы контекста, которые влияют на выполнение бизнес-процесса.

## 7. SWOT-анализ результатов исследований

Проведенный анализ предложенного метода выделения элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа логов показал следующее.

Среди сильных сторон данного метода необходимо отметить возможность использования полученных наборов событий не только для анализа непосредственно экспертом по процессному управлению, но и для применения в качестве входных данных для методов интеллектуального анализа данных. Во втором случае

могут быть получены формальные правила, отражающие связь контекста бизнес-процесса с его допустимыми и возможными последовательностями действий. Данный метод создает возможности для повышения эффективности знание-емких бизнес-процессов, а также условия для их тиражирования путем включения в модель процесса знаний, полученных в результате анализа выделенных элементов контекста. Это позволяет уменьшить влияние человеческого фактора при выполнении такого процесса.

Слабые стороны данного исследования связаны с использованием двух предположений: о формировании логов информационной системой только в формате *hex*, а также о корректности внесенных в лог данных. Действительно, логи бизнес-процессов предприятий, которые используются при проведении исследований в области интеллектуального анализа процессов, предоставляются в данном формате. Однако при всех преимуществах формата *hex* он является относительно новым и потому используется далеко не всеми процессными информационными системами. Второе предположение связано с нормальной работой информационной системы. Однако на практике возможна потеря или искажение части данных лога вследствие аппаратно-программных сбоев.

Дополнительные возможности предлагаемого метода, обеспечивающие достижение цели исследования, связаны с учетом не только контекста одного процесса из одного лога, но и контекста взаимодействующих процессов.

## 8. Выводы

1. Проведен анализ подходов к построению моделей знание-емких бизнес-процессов на основе обработки их логов. Показано, что традиционные методы интеллектуального анализа процессов не учитывают контекстную составляющую, что приводит к созданию *spaghetti* — like — моделей. Практическое использование таких моделей связано со значительными трудностями.

2. Предложен метод выделения элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа их логов. В практическом аспекте метод обеспечивает возможности для повышения эффективности управления знание-емкими бизнес-процессами путем включения в модель зависимостей, отражающих связь контекста с действиями процесса.

## Литература

1. Vom Brocke, J. Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems [Text] / J. vom Brocke, M. Rosemann. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. — 709 p. doi:10.1007/978-3-642-45100-3
2. Van der Aalst, W. M. P. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes [Text] / W. M. P. Van der Aalst. — Springer Berlin Heidelberg, 2011. — 352 p. doi:10.1007/978-3-642-19345-3
3. La Rosa, M. Configurable multi-perspective business process models [Text] / M. La Rosa, M. Dumas, A. H. M. ter Hofstede, J. Mendling // Information Systems. — 2011. — Vol. 36, № 2. — P. 313–340. doi:10.1016/j.is.2010.07.001
4. Müller, D. Data-Driven Modeling and Coordination of Large Process Structures [Text] / D. Müller, M. Reichert, J. Herbst // On the Move to Meaningful Internet Systems 2007: CoopIS, DOA, ODBASE, GADA, and IS. — Springer Science + Business Media. — P. 131–149. doi:10.1007/978-3-540-76848-7\_10
5. Cohn, D. Business artifacts: A data-centric approach to modeling business operations and processes [Text] / D. Cohn, R. Hull // Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering. — 2009. — Vol. 32, № 3. — P. 1–7.

6. Bhattacharya, K. Artifact-centered operational modeling: Lessons from customer engagements [Text] / K. Bhattacharya, N. S. Caswell, S. Kumaran, A. Nigam, F. Y. Wu // IBM Systems Journal. — 2007. — Vol. 46, № 4. — P. 703–721. doi:10.1147/sj.464.0703
7. Vom Brocke, J. On the role of context in business process management [Text] / J. vom Brocke, S. Zelt, T. Schmiedel // International Journal of Information Management. — 2016. — Vol. 36, № 3. — P. 486–495. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2015.10.002
8. Gronau, N. Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice (English) [Text] / N. Gronau. — Gito, 2012. — 522 p.
9. Görg, C. Visual Representations [Text] / C. Görg, M. Pohl, E. Qeli, K. Xu // Human-Centered Visualization Environments. — Springer Science + Business Media. — P. 163–230. doi:10.1007/978-3-540-71949-6\_4
10. Van der Aalst, W. M. P. Process Mining in the Large: A Tutorial [Text] / W. M. P. Van der Aalst // Business Intelligence. — Springer Science + Business Media, 2014. — P. 33–76. doi:10.1007/978-3-319-05461-2\_2
11. Kalynychenko, O. Implementation of search mechanism for implicit dependences in process mining [Electronic resource] / O. Kalynychenko, S. Chalyi, Y. Bodyanskiy, V. Golian, N. Golian // 2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS). — Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2013. — Available at: \www/URL: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2013.6662657>
12. Gunther, C. W. Using process mining to learn from process changes in evolutionary systems [Text] / C. W. Gunther, S. R. Ma, M. Reichert, W. M. P. van der Aalst, J. Recker // International Journal of Business Process Integration and Management. — 2008. — Vol. 3, № 1. — P. 61–78. doi:10.1504/ijbpm.2008.019348

#### ВИДІЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНТЕКСТУ ЗНАННЯ-ЄМНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЛОГІВ

Досліджено знання-ємні бізнес-процеси, які характеризуються впливом знань виконавців на послідовність дій процесу.

Показано, що для підвищення ефективності управління такими процесами необхідно формалізувати знання виконавців і включити їх у модель процесу. Запропоновано метод виділення елементів контексту знання-ємних бізнес-процесів на основі аналізу логів, який створює умови для виявлення знань виконавців.

**Ключові слова:** знання-ємний бізнес-процес, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління.

*Левькин Виктор Макарович, доктор технических наук, профессор, кафедра информационных управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: levkyinvictor@gmail.com.*

*Чала Оксана Викторовна, кандидат экономических наук, доцент, кафедра информационных управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: oksana.chala@nure.ua.*

*Левикін Віктор Макарович, доктор технічних наук, професор, кафедра інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.*

*Чала Оксана Вікторівна, кандидат економічних наук, доцент, кафедра інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.*

*Levykin Viktor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: levkyinvictor@gmail.com.*

*Chala Oksana, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: oksana.chala@nure.ua*

УДК 004.891.3

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.80970

Чалый С. Ф.,  
Левькин И. В.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ОЖИДАНИЯ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССАХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СОБЫТИЙ

*Исследованы бизнес-процессы, совместно использующие ресурсы. Показано, что снижение эффективности управления такими процессами связано с ожиданием доступа к общим ресурсам. На основе исследования логов бизнес-процессов определены необходимые и достаточные условия для возникновения интервалов ожидания в ходе выполнения процесса. Предложен метод выявления интервалов ожидания на основе анализа записей логов таких процессов.*

**Ключевые слова:** бизнес-процесс, интеллектуальный анализ процессов, процессное управление, ресурсы, интервал ожидания.

### 1. Введение

Процессное управление предприятием заключается в разработке моделей всех необходимых для предприятия бизнес-процессов и последующем управлении этими процессами [1]. Управление бизнес-процессами заключается в мониторинге выполняющихся последовательностей действий таких процессов и корректировке действий при необходимости. Эффективность процессного управления определяется своевременным достижением целей вы-

полняющихся процессов. Поэтому задачи управления набором взаимодействующих бизнес-процессов включают в себя не только построение workflow-модели процесса, но и поиск узких мест с последующим прогнозированием длительности его выполнения [2].

Несвоевременное выполнение действий процесса обычно связано с существованием скрытых интервалов ожидания при доступе к ресурсам. Такие задержки не включаются в состав последовательности действий в модели бизнес-процесса. К ресурсам, вызывающим