

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

задержку выполнения бизнес-процесса, обычно относят производственное оборудование и исполнителей действий процесса. Причиной появления интервалов ожидания, как правило, является блокировка ресурсов другими процессами. В предельном случае возможна взаимная блокировка ресурсов несколькими взаимодействующими бизнес-процессами, что требует вмешательства владельца процесса в ход его выполнения.

В связи с этим актуальными является исследования, посвященные выявлению интервалов ожидания взаимодействующих процессов на основе анализа записей об их выполнении.

При разработке соответствующих подходов необходимо учитывать особенности записи информации о поведении бизнес-процессов. В процессно-ориентированных информационных системах каждая реализация бизнес-процесса записывается в виде последовательности событий в файле лога [3]. Поэтому при построении моделей бизнес-процессов, учитывающих интервалы ожидания, целесообразно использовать подходы, принятые в области интеллектуального анализа процессов [4]. Такие подходы направлены на построение событийной модели бизнес-процесса с жестко предопределенной последовательностью действий. Записанные в логах события отражают начало либо завершение действий в такой workflow-модели [5].

Из сказанного следует, что актуальность исследований по выявлению задержек в ходе выполнения бизнес-процессов с помощью анализа последовательностей событий из файлов логов определяется необходимостью повышения эффективности процессного управления путем выявления узких мест бизнес-процессов.

## 2. Объект исследования и его технологический аудит

*Объектом данного исследования* является набор взаимодействующих бизнес-процессов предприятия. Совокупность таких процессов представляет собой объект управления при реализации на предприятии процессного подхода к управлению.

Основная проблема построения и реализации таких процессов связана с организацией доступа к ресурсам, которые используются при производстве продукции. Данная проблема определяется тем, что различные бизнес-процессы могут совместно использовать принадлежащее предприятию оборудование, причем работать они начинают по мере поступления заказов. Поэтому вновь запускаемые процессы конкурируют за ресурсы с уже существующими бизнес-процессами. В результате отдельные действия процесса включают в себя пару интервалов: (ожидание; выполнение требуемой операции), причем в модели процесса такие интервалы ожидания обычно не учитываются.

Следовательно, фрагменты с интервалами ожидания представляют собой узкие места бизнес-процесса, приводящие к снижению эффективности процессного управления.

Для выявления особенностей узких мест бизнес-процессов проводился технологический аудит, который заключался в исследовании файлов логов таких процессов. Каждый файл лога содержат записи о событиях, произошедших при выполнении процесса. Для каждого события указывается момент времени его возникновения. Проведенный аудит показал наличие различных интервалов ожидания для выполняющихся бизнес-процессов.

В таких процессах может возникнуть два интервала задержки: ожидания запросов пользователя и ожидания внутренних ресурсов процесса. Первый интервал ожидания характерен для интерактивных процессов. Информация о продолжительности данного интервала не позволяет оценить эффективность процесса, выявить возникновение проблем при использовании ресурсов. Второй интервал ожидания характеризует узкие места процесса. Появление такого интервала показывает, что необходимые для текущего экземпляра процесса ресурсы используются другим процессом. Поэтому дальнейший анализ действий процесса, использующего требуемый ресурс, а также организация совместного использования ресурса с применением известных механизмов синхронизации позволяет повысить как эффективность использования текущего ресурса, так и процессного управления в целом.

## 3. Цель и задачи исследования

*Цель исследования* — разработка подхода к интервальному представлению действий и задержек при ожидании ресурсов бизнес-процессов с тем, чтобы выявлять интервалы ожидания ресурсов на основе анализа информации о выполнении таких процессов. Это позволило бы снизить задержки при выполнении взаимодействующих процессов, использующих одни и те же ресурсы, и тем самым повысить эффективность процессного управления.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Выделить необходимые и достаточные условия для появления интервала задержки при выполнении процесса.
2. Разработать метод выявления интервалов ожидания ресурсов бизнес-процессов.
3. Проиллюстрировать применимость разработанного метода для лога бизнес-процесса процесса транснационального сервисного предприятия.

## 4. Анализ литературных данных

Цикл процессного управления предполагает разработку, конфигурирование и использование моделей бизнес-процессов [1]. Интеллектуальный анализ процессов (process mining) представляет собой одно из основных направлений решения проблемы усовершенствования процессных моделей [3–5]. Анализ записанной в логах информации позволяет получить формальное описание поведения процесса, выявить отклонения от заданного поведения, а также «узкие места».

В настоящее время разработаны методы и инструментальные средства интеллектуального анализа [6], позволяющие решать задачи моделирования бизнес-процессов при условии полноты лога (в том числе наличия точных временных меток событий). Авторами показано, что трудности практического применения методов process mining связаны с неполнотой информации в исходном логе. Исходный лог содержит события, отражающие выполнение действий процесса во времени (начало, завершение, промежуточные этапы действия), а модель процесса должна содержать алгоритм выполнения действий с учетом ограничений по ресурсам. Поэтому для построения модели процесса необходимо установить соответствие между подмножествами событий и действиями процесса, выделить подмножества последовательно и параллельно выполняющихся действий с учетом используемых

ресурсов, а затем сформировать алгоритм процесса из полученных подмножеств. Неполная запись событий в лог затрудняет решение этой задачи. Поэтому при построении модели процесса целесообразно использовать дополнительную информацию из атрибутов событий лога.

Существующие методы интеллектуального анализа процессов, использующие различные расширения сетей Петри [7, 8], темпоральные логики [9], процессную алгебру [10] как формальную основу для построения модели БП, создают качественные модели, отражающие логику процесса, на основе учета временных меток событий. Такие методы выделяют последовательность событий процесса, не учитывая последовательность использования ресурсов во времени, что затрудняет как выявление задержек в работе в условиях изменяющейся внешней среды вследствие недостатка ресурсов, так и дальнейшее усовершенствование процесса.

Проведенный анализ литературных источников позволяет сделать вывод о том, что существующие методы направлены преимущественно на построение workflow-моделей и не уделяют достаточно внимания выявлению задержек в использовании ресурсов. В то же время формализация таких шаблонов позволит выделить задержки при выполнении бизнес-процесса, что создает возможности для его дальнейшего усовершенствования.

### 5. Материалы и методы исследования

Выполненный анализ показал, что для повышения эффективности процессного управления необходимо выявить интервалы задержек доступа к ресурсам, которые возникают при совместном использовании последних несколькими взаимодействующими бизнес-процессами.

В качестве исходных данных используются записи событий процесса, которые обладают следующими характеристиками.

Все записи помещаются в лог процесса. Лога подразделяется на трассы процесса. Каждая трасса содержит последовательно записанные события, отражающие выполнение одного экземпляра процесса. При записи каждого события указываются временная метка (момент времени возникновения события), а также атрибуты. Атрибуты отражают свойства элемента процесса, связанного с этим событием, например: наименование операции, исполнитель, страна, код обрабатываемой продукции и т. п.

Для выявления задержек необходимо рассмотреть интервалы между всеми парами последовательно выполнившихся событий, например  $(e_{k,1}, e_{k,2})$ , которые обладают следующими особенностями: относятся к одному  $i$ -экземпляру процесса  $p_k$ ; зафиксированы на одном пути  $\pi_k$ ; отражают последовательное завершение действий  $d_{k,1}$  и  $d_{k,1}$ , связанных с использованием ресурса  $r$ ; ресурс  $r$  предоставляется другим экземпляром процесса с завершением действия  $d_{l,1}$ .

При анализе лога традиционными методами, на основе сравнения временных меток событий, продолжительность второго действия процесса  $d_2$ , задается интервалом времени между событиями  $e_{k,1}$  и  $e_{k,2}$ .

$$\Delta\tau_k^{1,2} = \tau_{stp,k}^2 - \tau_{stp,k}^1, \tag{1}$$

где  $\Delta\tau_k^{1,2}$  — продолжительность интервала между событиями  $e_{k,2}$  и  $e_{k,1}$ ;  $\tau_{stp,k}^1$  и  $\tau_{stp,k}^2$  — значения времени возникновения событий  $e_{k,1}$  и  $e_{k,2}$ .

Однако при учете используемых ресурсов данный интервал может быть разбит на две составляющих: интервал  $\Delta\tau_k^{1,r}$  ожидания освобождения ресурса  $r_2$  после выполнения действия  $d_{l,1}$  из другого экземпляра процесса; собственно интервал выполнения действия  $\Delta\tau_k^{r,2}$ :

$$\begin{aligned} \Delta\tau_k^{1,2} &= \Delta\tau_k^{1,r} + \Delta\tau_k^{r,2}, \quad \Delta\tau_k^{1,r} = \tau_{stp,1}^r - \tau_{stp,k}^1, \\ \Delta\tau_k^{r,2} &= \tau_{stp,k}^2 - \tau_{stp,1}^r, \end{aligned} \tag{2}$$

где  $\tau_{stp,1}^r$  — событие освобождения ресурса  $r$ , зафиксированное в лог параллельно выполняющегося другого процесса, либо на трассе  $\pi_l$  другого экземпляра процесса  $p_l$ .

Пусть выполнение экземпляра процесса отражено в лог в форме пути  $\pi_k$ , который представляет собой упорядоченный набор событий  $e_{k,i}$ . Тогда произвольная пара последовательно выполнившихся событий  $e_{k,i}$  и  $e_{k,i+1}$ , связанных отношением перехода  $\succ$ , т. е.  $e_{k,i} \succ e_{k,i+1}$ , соответствует временному интервалу  $\Delta\tau_k^{i,i+1}$ . Продолжительность данного интервала вычисляется через разность временных меток  $\tau_{stp}$  событий  $e_{k,i+1}$  и  $e_{k,i}$  соответственно  $\Delta\tau_k^{i,i+1} = \tau_{stp}(e_{k,i+1}) - \tau_{stp}(e_{k,i})$ . Назначение данного интервала определяется перечнем и значениями атрибутов события  $e_{k,i}$  из множества  $A_{k,i}$ . Такой набор представляется множеством пар (атрибут, значение), причем каждому элементу  $A_{k,i}$  соответствует набор возможных значений конкретного  $j$ -атрибута  $V_j$ :

$$A_{k,i} = \{a_{k,i}^j, V_j\}, \tag{3}$$

где  $a_{k,i}^j$  — наименование  $j$ -атрибута  $i$ -события на  $k$ -пути реализации процесса;  $V_j$  — набор возможных для данного процесса значений  $j$ -атрибута.

В дальнейшем будем рассматривать поведение процесса только на одном пути  $\pi_k$ , поэтому  $k$ -индекс в событиях и их атрибутах будет подразумеваться по умолчанию:  $A_{k,i} = A_i, e_{k,i} = e_i$  и т. п.

### 6. Результаты исследований

Для выявления интервалов ожидания на основе исследования логов событий необходимо сформулировать необходимое и достаточное условия перехода между действиями процесса, а также между действиями и интервалами ожидания.

Необходимое условие перехода от одного действия процесса к другому либо между действиями и ожиданием определяется изменением значений для заданного подмножества атрибутов.

$$\begin{aligned} \exists A_i^* \subset A_i, A_{i+1}^* \subset A_{i+1}, A_i^* = A_{i+1}^* : \\ v_{a_i^j} \neq v_{a_{i+1}^j} \quad \forall a_i^j \in A_i^*, a_{i+1}^j \in A_{i+1}^* | e_i \succ e_{i+1}, v_{a_i^j} \in V_j, v_{a_{i+1}^j} \in V_{j+1} \\ \Rightarrow d_l \succ d_{l+1} \vee d_l \succ w_{l+1} \vee d_l \succ q_{l+1} \vee w_l \succ d_{l+1} \vee q_l \succ d_{l+1}, \\ d_l, d_{l+1} \in D, w_l, w_{l+1} \in W, q_l, q_{l+1} \in Q, \end{aligned} \tag{4}$$

где  $e_i, e_{i+1}$  — последовательно выполнившиеся на пути реализации процесса события (без промежуточных событий между ними);  $A_i^*, A_{i+1}^*$  — подмножества атрибутов, изменение значений которых свидетельствует о завершении текущего действия или интервала ожидания;  $a_i^j, a_{i+1}^j$  —  $j$ -атрибут событий  $e_i$  и  $e_{i+1}$  на текущем пути реализации

процесса;  $v_{a_i^j}, v_{a_{i+1}^j}$  — значения  $j$ -атрибута  $i$ -го и  $i+1$ -го последовательно выполнившихся событий,  $d_i, d_{i+1}$  — последовательно выполнившиеся действия рассматриваемого экземпляра процесса;  $w_l, w_{l+1}$  — ожидание ресурсов на  $l$  и  $l+1$  шагах процесса соответственно;  $q_l, q_{l+1}$  — ожидание внешнего по отношению к процессу запроса на  $l$  и  $l+1$  шагах процесса соответственно;  $D$  — множество всех действий текущего экземпляра процесса;  $W$  — множество всех интервалов ожидания ресурсов текущего экземпляра процесса;  $Q$  — множество всех интервалов ожидания запросов на обслуживание текущего экземпляра процесса.

Данное условие позволяет перейти от событийного представления процесса в форме одной или нескольких трасс лога к интервальному, при котором во временной интервал включается несколько событий, соответствующих одному действию (либо одному периоду ожидания) процесса.

Достаточное условие для выявления интервала ожидания ресурсов на основе анализа логов событий имеет следующий вид:

$$\forall j(v_{a_i^j} \in V_j^*) \neq (v_{a_{i+1}^j} \in V_{j+1}^*) | e_i > e_{i+1},$$

$$V_j^* \subseteq V_j, V_{j+1}^* \subseteq V_{j+1}, \tag{5}$$

где  $V_j^*, V_{j+1}^*$  — подмножества значений атрибутов, свидетельствующих о переходе между действиями и интервалами ожидания.

В общем случае при анализе процесса выражение (4) необходимо детализовать для всех возможных переходов между действиями и интервалами ожидания, т. е. для  $d_l > d_{l+1} \vee d_l > w_{l+1} \vee d_l > q_{l+1} \vee q_l > d_{l+1} \vee q_l > d_{l+1}$ .

В соответствии с поставленной в работе задачей, данное условие необходимо представить в первую очередь для перехода  $d_l > w_{l+1}$ . Детализация необходимого условия перехода к интервалу ожидания ресурсов выполняется, как видно из выражения (4), путем выбора соответствующего подмножества атрибутов  $A_i^*$ .

Проведенный в работе анализ логов транснационального сервисного предприятия, медицинского и муниципальных учреждений показал, что набор атрибутов  $A_i^*$ , позволяющих выделить переход к интервалу ожидания, обычно ограничен и включает в себя: «Наименование события», «Состояние действия».

Аналогично, детализация общего условия (5) выполняется за счет выбора таких подмножеств значений атрибутов из  $A_i^*$ , которые фиксировали бы переход от действия к ожиданию в конкретной предметной области. Выбор указанных значений осуществляется с использованием знаний исполнителей процесса. Значения атрибутов в общем случае представляют собой символьные строки.

Необходимые условия для появления интервала ожидания ресурсов процесса задаются безотносительно к предметной области посредством набора атрибутов событий. Однако достаточные условия для выявления такого интервала определяются значениями атрибутов и потому зависят от предметной области. Следовательно, для нахождения таких интервалов, а также для выделения

действий процесса, необходимо найти зависимости между наименованием и значениями атрибутов, а также действиями и интервалами ожидания.

Поскольку исходная информация представлена логом событий — т. е. массивом данных, содержащих записи о произошедших событиях и их свойствах, то для определения искомым зависимостей целесообразно использовать методы интеллектуального анализа данных. Выбор метода определяется следующими соображениями: решается задача классификации; набор исходных данных является конечным; необходимо обеспечить поддержку принятия решений по определению типа интервала. Поэтому обоснованным представляется выбор подходов к выявлению искомым интервалов на основе деревьев решений [11] либо ассоциативных правил. Для построения дерева решений необходимо выполнить анализ полного лога. Последний включает набор путей выполнения процесса, аналогичных представленному примеру в табл. 1.

Предлагаемый метод основан на приведенных положениях и включает в себя следующие этапы.

1. Отбор подмножеств атрибутов  $A_i^*$ , которые обеспечивают выполнение необходимого условия перехода  $d_l > w_{l+1}$  согласно выражению (4). Минимальный набор атрибутов определяется структурой событий лога и не зависит от предметной области. Набор может быть расширен при наличии в логе дополнительных атрибутов.

2. Отбор подмножеств значений атрибутов  $V_j^*$ , которые обеспечивают выполнение достаточного условия перехода  $d_l > w_{l+1}$  согласно выражению (5). Набор значений атрибутов зависит от предметной области.

3. Отбор таких подмножеств событий из трасс лога, для которых выполняются необходимые и достаточные условия (4) и (5) перехода к интервалу ожидания.

4. Формирование дерева решений, связывающего набор значений атрибутов с переходом  $d_l > w_{l+1}$ . Альтернативная реализация данного этапа заключается в формировании множества ассоциативных правил, указывающих признаки перехода  $d_l > w_{l+1}$ .

5. Построение подмножества пар  $(e_i; w_{l+1})$ , отражающих связь событий процесса с интервалом ожидания.

Проиллюстрируем результаты применения предлагаемого метода на примере одной трассы лога сервисной компании, представленной в табл. 1, а также соответствующего экземпляра процесса, представленного на рис. 1.

Таблица 1

Фрагмент лога бизнес-процесса сервисного обслуживания

№ п/п	Временная метка события	Наименование события	Текущее состояние действия	Исполнитель
1	2011-11-07 T08:01:02+01:00	Accepted	In Progress	Christine
2	2011-11-07 T08:01:20+01:00	Accepted	In Progress	Christine
3	2011-11-07 T08:07:06+01:00	Accepted	Assigned	Martin
4	2011-11-07 T12:47:38+01:00	Accepted	In Progress	Martin
5	2011-11-07 T12:47:58+01:00	Queued	Waiting Assignment	Martin
6	2011-11-07 T15:35:12+01:00	Accepted	In Progress	Tomas
7	2011-11-07 T15:35:19+01:00	Accepted	Assigned	Tomas
8	2011-11-30 T13:22:51+01:00	Accepted	In Progress	Niklas
9	2012-01-12 T09:36:07+01:00	Accepted	Wait-User	Niklas
10	2012-05-04 T16:25:22+02:00	Completed	Resolved	Niklas
11	2012-05-04 T16:25:22+02:00	Completed	Closed	Siebel

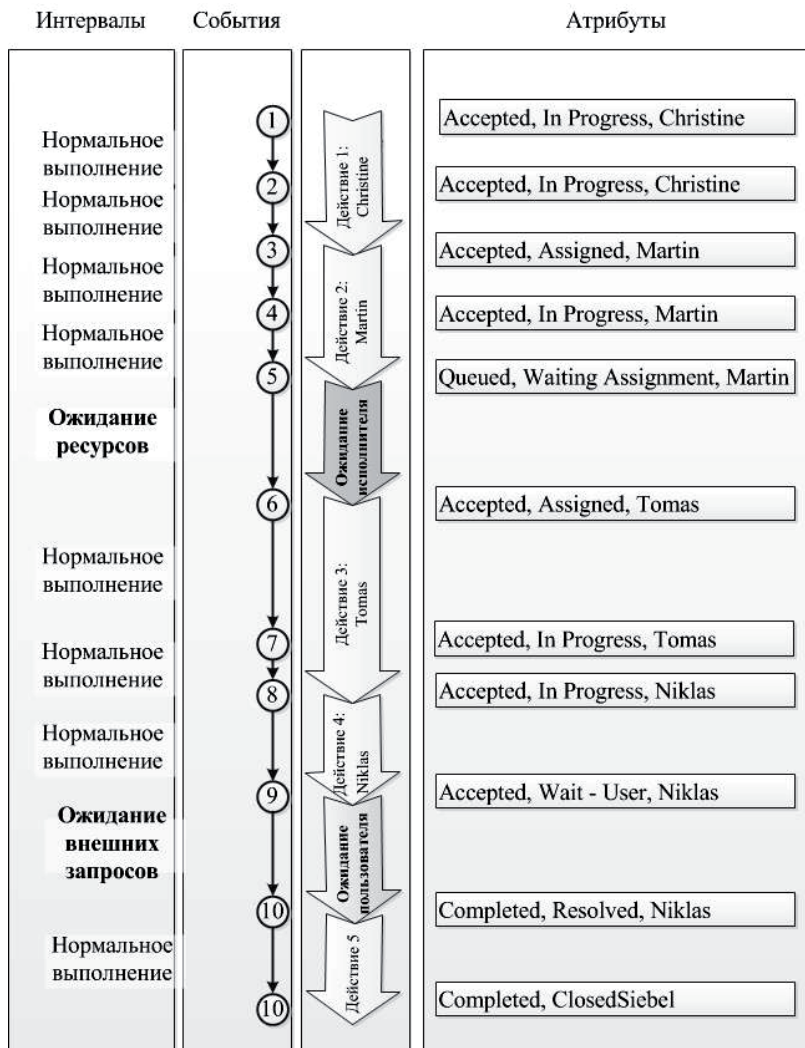


Рис. 1. Пример выделения интервалов ожидания

конкретного бизнес-процесса. Проведенный анализ логов нескольких компаний, записанных в стандарте xes, показал, что количество значений атрибутов, определяющих интервал ожидания, а также количество комбинаций таких атрибутов, обычно ограничено. Поэтому все допустимые значения атрибутов могут быть найдены экспертом и использованы в качестве входных данных метода. Например, для рассмотренного экземпляра бизнес-процесса используются две последовательности символов, отражающие состояние ожидания: «Waiting Assignment» и «Awaiting Assignment». Это позволяет получить ограниченное множество ассоциативных правил для определения не только перехода к интервалу ожидания, но и перехода между действиями процесса. Использование полного набора условий перехода позволяет преобразовать лог в интервальное описание бизнес-процесса — т. е. перейти от событий к действиям процесса и интервалам ожидания. Пример интервального описания для рассмотренного экземпляра процесса приведен на рис. 1.

Из данного примера видно, что значения атрибутов «Наименование события» и «Состояние действия» позволяют определить переход от интервала нормального выполнения к интервалу ожидания ресурсов. В то же время эта пара атрибутов не позволяет разделить действия процесса. У частности, четверем первым интервалам нормального выполнения соответствует два действия. Для разделения операций необходимо использовать все три из представленных на рис. 1 атрибутов.

Данная трасса содержит два интервала ожидания — ресурсов (строка 5) и запросов пользователя (строку 9). В первых шести строках лога записан подпроцесс принятия на исполнение и начальной обработки заказа длительностью чуть более 7 часов. Подпроцесс начинается с распределения заказа исполнителем Christine. Данному действию соответствует события из строк 1 и 2 табл. 1.

После назначения исполнителем Martin, он выполняет обработку заказа в течение чуть более чем 4 часа 40 минут. Затем процесс переходит в состояние ожидания внутренних ресурсов (нового исполнителя). В целом продолжительность первого подпроцесса составила около 7 часов 34 минут, из которых ожидание заняло около 3 часов 48 минут — т. е. несколько более 50 %, что свидетельствует о низкой эффективности данного подпроцесса и иллюстрирует актуальность рассматриваемой задачи поиска и сокращения периодов ожидания. Строки 6-11 отражают собственно сервисное обслуживание и содержат интервал ожидания запросов пользователя, наличие которого не влияет на эффективность процесса.

Из табл. 1 видно, что определяющий переход  $d_l \succ w_{l+1}$  набор атрибутов  $A_l^*$  включает в себя атрибуты «Наименование события», «Состояние действия» и не зависит от предметной области. Значения соответствующих атрибутов — «Queued» и «Waiting Assignment» специфичны для

### 7. SWOT-анализ результатов исследований

Проведенный анализ предложенного метода выявления интервалов ожидания и условий его использования показал следующее.

Среди сильных сторон данного метода необходимо отметить возможности его сочетания с существующими методами интеллектуального анализа процессов, а также возможности адаптации метода при изменении перечня атрибутов и допустимого множества их значений.

Данный метод позволяет дополнить модели процессов, полученные традиционными методами process mining, интервалами ожидания ресурсов. Это позволяет решить задачу повышения эффективности бизнес-процессов за счет устранения узких мест в результате анализа зависимостей интервалов ожидания от предшествующих действий взаимосвязанных бизнес-процессов.

При практическом использовании данного метода следует учитывать разнообразие форматов представления логов, содержащих информацию о поведении бизнес-процесса, а также отсутствие исчерпывающего перечня стандартных обозначений для состояний операций процесса. Структура файла лога не влияет на выполнение предлагаемого метода. Перечень значе-

ний атрибутов может быть дополнен при реализации метода.

Слабые стороны данного исследования связаны с использованием предположения о своевременной и точной записи событий в файл лога. Однако известно, что в применяемых процессных информационных системах данное предположение может нарушаться. Во-первых, нарушение последовательности записи событий лога возникает в силу того, что события устанавливаются информационной системой в очередь на запись. Модуль записи событий может фиксировать в качестве временной метки не время возникновения события, а время сохранения события в логе. Во-вторых, не все информационные системы указывают время возникновения событий с заданной степенью точности. При округлении времени до часов точно установить последовательность событий будет затруднительно.

Дополнительные возможности предлагаемого метода, обеспечивающие достижение цели исследования, связаны с расширением перечня атрибутов лога, которые используются для выявления интервалов задержек.

## 8. Выводы

1. Выделены необходимое и достаточное условия для появления интервала задержки в логе, фиксирующем выполнение процесса. Необходимое условие для возникновения интервала ожидания состоит в изменении значений у заданного подмножества атрибутов для пары последовательно расположенных в логе событий. Необходимое условие определяется только заданной в логе структурой события. Достаточное условие определяется через ограничение допустимых изменений значений атрибутов у последовательных пар событий. Реализация данного условия зависит от значений атрибутов, а потому определяется конкретным процессом.

2. Разработан метод выявления интервалов ожидания ресурсов процесса на основе анализа изменений значений атрибутов событий лога, отражающих изменение доступных ресурсов во время выполнения процесса. В практическом аспекте метод создает условия для повышения эффективности процессного управления путем сокращения задержек.

3. На примере трассы лога сервисной компании показаны зависимости между изменением атрибутов событий и появлением интервала ожидания, иллюстрирующие практическую ценность предложенного метода. Комбинация значений двух атрибутов позволяет определить наступление интервала ожидания. Конкретные значения атрибутов зависят от принятой в компании практики наименования событий процесса. Для расширения возможностей метода необходимо увеличивать количество используемых атрибутов. Так, для выявления переходов между действиями процесса, необходимо учитывать значения трех атрибутов. Сокращение либо устранение интервалов ожидания для приведенной в пример трассы процесса позволяет сократить его продолжительность до 50 %.

## Литература

1. Weske, M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures [Text] / M. Weske. — Springer Berlin Heidelberg, 2007. — 368 p. doi:10.1007/978-3-540-73522-9

- Maier, R. Defining process-oriented knowledge management strategies [Text] / R. Maier, U. Remus // Knowledge and Process Management. — 2002. — Vol. 9, № 2. — P. 103–118. doi:10.1002/kpm.136
- 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
- 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
- Bose, R. P. J. C. Handling Concept Drift in Process Mining [Text] / R. P. J. C. Bose, W. M. P. van der Aalst, I. Zliobaite, M. Pechenizkiy // Advanced Information Systems Engineering. — Springer Science + Business Media, 2011. — P. 391–405. doi:10.1007/978-3-642-21640-4\_30
- Verbeek, H. M. W. XES, XESame, and ProM 6 [Text] / H. M. W. Verbeek, J. C. A. M. Buijs, B. F. van Dongen, W. M. P. van der Aalst // Lecture Notes in Business Information Processing. — Springer Science + Business Media, 2011. — P. 60–75. doi:10.1007/978-3-642-17722-4\_5
- Gunther, C. W. Process Mining in Flexible Environments [Text]: PhD thesis / C. W. Gunther. — Berlin: Eindhoven University of Technology, 2008. — 228 p.
- Günther, C. W. Fuzzy Mining — Adaptive Process Simplification Based on Multi-perspective Metrics [Text] / C. W. Günther, W. M. P. van der Aalst // Lecture Notes in Computer Science. — Springer Science + Business Media, 2007. — P. 328–343. doi:10.1007/978-3-540-75183-0\_24
- Popova, V. Formal analysis of executions of organizational scenarios based on process-oriented specifications [Text] / V. Popova, A. Sharpanskykh // Applied Intelligence. — 2009. — Vol. 34, № 2. — P. 226–244. doi:10.1007/s10489-009-0192-9
- Van der Aalst, W. M. P. Workflow Management: Models, Methods, and Systems [Text] / W. M. P. van der Aalst, K. M. van Hee. — Cambridge, MA: MIT press, 2002. — 361 p.
- Utgoff, P. E. An Improved Algorithm for Incremental Induction of Decision Trees [Text] / P. E. Utgoff // Machine Learning Proceedings 1994. — Elsevier BV, 1994. — P. 318–325. doi:10.1016/b978-1-55860-335-6.50046-5

## ВИЯВЛЕННЯ ІНТЕРВАЛІВ ОЧІКУВАННЯ В БІЗНЕС-ПРОЦЕСАХ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ПОДІЙ

Досліджено бізнес-процеси, що спільно використовують ресурси. Показано, що зниження ефективності управління такими процесами пов'язано з очікуванням доступу до загальних ресурсів. На основі дослідження логів бізнес-процесів визначені необхідні і достатні умови для виникнення інтервалів очікування в ході виконання процесу. Запропоновано метод виявлення інтервалів очікування на основі аналізу записів логів таких процесів.

**Ключові слова:** бізнес-процес, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління, ресурси, інтервал очікування.

*Чалый Сергей Федорович, доктор технических наук, профессор, кафедра информационных управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: serhii.chalyi@nure.ua.*

*Левыкин Игорь Викторович, кандидат технических наук, доцент, кафедра информационных управляющих систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: ihor.levykin@nure.ua.*

*Чалый Сергій Федорович, доктор технічних наук, професор, кафедра інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.*

*Левикін Ігор Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.*

*Chalyi Serhii, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: serhii.chalyi@nure.ua.*

*Levykin Ihor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, e-mail: ihor.levykin@nure.ua*