

## Применение интеллектуального анализа процессов в управлении проектами

А. А. Васильев, А. В. Горячев✉

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

✉ avgoryachev@gmail.com

**Аннотация.** Рассматривается интеллектуальный анализ процессов, набирающий в последнее время популярность в различных организациях. Он основан на построении моделей бизнес-процессов в конкретной области (например, в сфере управления проектами) на основе журналов событий, обеспечивая более точное понимание действий, происходящих в бизнес-процессах, с целью их последующего анализа и усовершенствования. В статье дается определение интеллектуального анализа процессов, журналов событий, перечисляются основные задачи, алгоритмы и модели представления. Авторы предлагают методологию, которая может быть использована в ходе применения анализа процессов в сфере управления проектами. Также авторами выделяются основные бизнес-процессы в управлении проектами, для которых целесообразно построение моделей и их анализ.

**Ключевые слова:** интеллектуальный анализ процессов, обнаружение процессов, журналы событий, управление проектами, процессы проекта, управление бизнес-процессами

**Для цитирования:** Васильев А. А., Горячев А. В. Применение интеллектуального анализа процессов в управлении проектами // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 3. С. 52–59. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-3-52-59.

---

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Original article

## Applying Process Mining to Process Management

А. А. Vasiliev, A. V. Goryachev✉

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

✉ avgoryachev@gmail.com

**Abstract.** Deals with the intellectual analysis of processes (Process Mining), which has recently gained popularity in various organizations. It is based on the construction of business process models in a specific area (for example, in the field of project management) based on event logs, providing a more accurate understanding of the actions occurring in business processes for the purpose of their subsequent analysis and improvement. The article defines process mining, event logs, lists the main tasks, algorithms and view models. The authors propose a methodology that can be used in the application of process analysis in the field of project management. The authors also highlight the main business processes in project management, for which it is advisable to build models and analyze them.

**Keywords:** process mining, process discovery, event logs, project management, project processes, business process management

**For citation:** Vasiliev A. A., Goryachev A. V. Applying Process Mining to Project Management // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2023. Vol. 16, no. 3. P. 52–59. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-3-52-59.

---

**Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

---

**Введение.** Бизнес-процесс организации – это многократно повторяющаяся, управляемая, логически связанная последовательность действий, направленная на достижение определенных целей и создание продукта, имеющего непосредственную ценность для заказчика. Бизнес-процессы представляют собой важную часть деятельности любого предприятия, включая проектные организации. Их грамотная организация и управление ими оказывают непосредственное влияние на привлекательность товаров и услуг с точки зрения восприятия рынком. Они позволяют реализовать стратегические цели компании и поэтому должны быть в центре внимания.

Документирование процессов организации служит основным показателем грамотного управления бизнес-процессами (*англ.* Business Process Management, BPM) в организациях [1]. Артефакты документации – схемы процессов, действия, политики, управление и т. д., формируют концепцию процессного подхода внутри организации, что, в свою очередь, способствует повышению эффективности деятельности компании и увеличению ее прибыли [2]. Для оптимальной производительности бизнес-процесс должен быть реализован и выполняться в соответствии с политиками процесса, в согласовании с его заинтересованными сторонами или в соответствии с нормативными требованиями [3].

Базовым элементом, необходимым для управления бизнес-процессом, является знание его реальной эффективности. Это знание может быть выражено в виде модели процесса.

Создание модели процесса может осуществляться двумя способами:

- 1) ручной аудит выполнения процесса;
- 2) автоматический анализ выполнения процесса на основе его поведения во время выполнения [1], [4].

Первый метод обычно опирается на процедуры внутреннего аудита для обнаружения процессов и проверки их соответствия и широко используется на практике [5]. Несмотря на распространенность, этот метод может иметь некоторые недостатки. Одна из основных проблем, связанных с применением такого подхода, заключается в отсутствии объективности, так как аудит обычно проводят те, кто работает в одних и тех же организациях. Кроме того, навыки, необходимые для проведения процесса оценки, могут отсутствовать или быть недостаточно изученными. Поэтому организации могут принять решение о прове-

дении внешней оценки для получения более достоверных результатов. Тем не менее, этот вариант также не лишен недостатков. Во-первых, его применение требует больших затрат человеческих ресурсов и бюджета, и, во-вторых, знания о процессе, подлежащем аудиту, которые необходимы для точных результатов оценки, у пользователей процесса могут отсутствовать или быть неполными.

Следовательно, было бы более эффективно, если бы анализ процесса проводился с учетом особенностей его реального выполнения, а не полагался на ввод бумажной документации или интервью эксперта в предметной области. Эта концепция основана на том факте, что бизнес-процессы обычно выполняются в системах, имеющих данные о процессах – системах управления рабочими процессами (*англ.* Workflow Management System, WfMS) или бизнес-процессами (*англ.* Business Process Management System, BPMS), которые, в свою очередь, регистрируют журналы транзакций процесса в своем файле журнала событий. Файл журнала при правильном анализе может предоставить точную информацию, связанную с выполнением процесса, и, следовательно, помогает в представлении относительной модели процесса. Эта новая технология анализа процессов называется интеллектуальным анализом процессов.

В организациях, занимающихся проектной деятельностью, главным бизнес-процессом, оказывающим непосредственное влияние на результат деятельности организации и ее успешность на рынке, является процесс управления проектами – деятельность, направленная на определение и достижение четких целей проекта при условии сбалансированности объемов работ, ресурсов, времени, качества и рисков. В статье представлен анализ бизнес-процессов в ходе управления проектами, который можно использовать для обнаружения моделей процессов, их всестороннего анализа, дальнейшего улучшения и оптимизации в организациях, занятых проектной деятельностью.

**Определение Process Mining.** Интеллектуальный анализ процессов (*англ.* Process Mining, PM) – это использование методов и алгоритмов интеллектуального анализа данных для выявления моделей рабочих процессов и поведения при их выполнении [4], [6].

Раннее применение интеллектуального анализа процессов для получения моделей процессов информационных систем было проведено Р. Агра-

№	CaseID	Timestamp	Executor	Task	Status	Urgency
1	1001	14.06.2022 11:06:32	Иванов	Создание чертежа	Выполнено	0
2	1002	14.06.2022 11:07:05	Петров	Создание макета	В процессе	0
3	1001	14.06.2022 11:25:59	Семенов	Отправление заказчику	Выполнено	1
4	1005	14.06.2022 12:55:03	Васильев	Контроль рисков этапа 1	Ожидает выполнения	2
5	1004	14.06.2022 13:29:47	Коваленко	Подтверждение бюджета проекта 1035	Ожидает выполнения	0
6	1009					
...	...	...	...	...	...	...
1935	1005	14.06.2022 17:05:32	Макарова	Оценка рисков	В процессе	0

Рис. 1. Пример журнала событий  
Fig. 1. Event log example

валом и др. [7]. Позже РМ стал применяться во многих областях – в банковском деле, здравоохранении, государственном управлении и т. д. [8]. Зависящая от событий природа интеллектуального анализа процессов способствовала его использованию в качестве мощного механизма для поддержки координируемого моделями управления рабочими процессами и традиционного управления бизнес-процессами.

В настоящее время интеллектуальный анализ процессов проводится чаще всего на основе анализа записей в журналах событий процессов.

**Журналы событий процесса.** Журналы событий – это записи о выполнении, которые система создает при выполнении экземпляра процесса в заданную единицу времени [5], [7]. Каждая запись журнала событий представляет несколько элементов данных, связанных с выполнением процесса. На рис. 1 показан пример записей журнала событий.

В табл. 1 приведен пример журнала системных событий конкретного процесса. В таблице есть 4 элемента данных:

1. Столбец 1 – идентификатор события, которое подразумевает экземпляр конкретного процесса (CaseID).
2. Столбец 2 – отметка времени, которая указывает время, когда событие было зарегистрировано в системе (Timestamp – часы и минуты).
3. Столбец 3 – действие, которое представляет собой выполняемую задачу (Task).
4. Столбец 4 – ресурс, относящийся к лицу, ответственному за выполнение действия (человеку, группе, отделу и т. д.) (Resource).

Порядок записей о событиях важен для выявления причинно-следственных связей и, следовательно, построения правильной модели процесса. Только идентификатор события и атрибуты действия – необходимые атрибуты среди других, если целью процесса интеллектуального анализа данных является только анализ зависимости действий. Атрибуты ресурсов и временных меток используются при анализе аспектов, связанных с производительностью, – времени ожидания в процессе, общего времени цикла, узких мест, нехватки ресурсов и т. д.

Табл. 1. Данные журнала событий  
Tab. 1. Event log data

CaseID	Timestamp	Task	Resource
1	00:01	A	X
2	00:07	A	Y
2	00:12	C	Z
3	00:13	A	Y
1	00:15	B	X
1	00:30	C	Z
2	00:37	B	X
1	00:38	D	Z
3	00:39	E	Y
2	00:43	D	Z
3	00:44	D	Z

Предполагая, что набор данных в табл. 1 – репрезентативный, процесс анализа начинается с группировки подобных случаев в группах трассировок (табл. 2). Каждая трассировка представляет собой полное выполнение экземпляра процесса. На рис. 2 показана ожидаемая модель процесса из табл. 2 в нотации моделирования бизнес-процессов (англ. Business Process Model and Notation, BPMN).

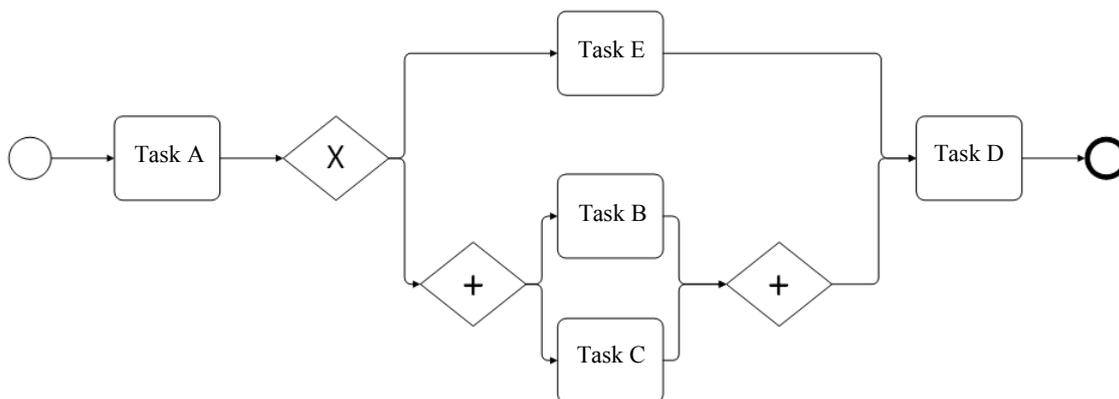


Рис. 2. Модель процесса в нотации BPMN  
 Fig. 2. Process model in BPMN notation

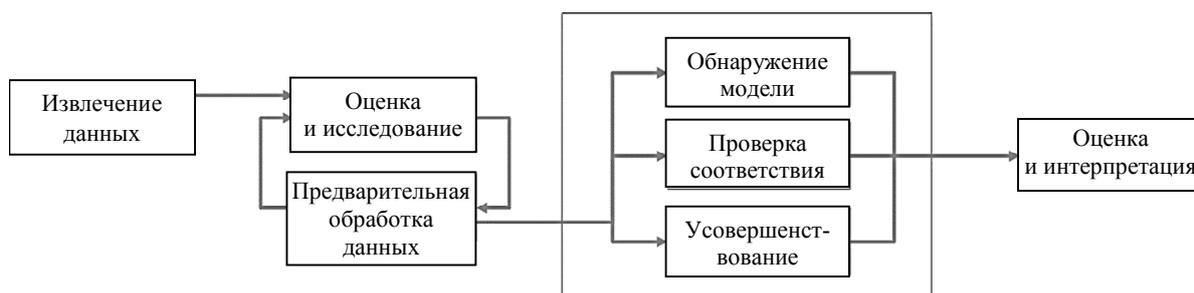


Рис. 3. Задачи process mining  
 Fig. 3. Process mining tasks

Интеллектуальный анализ процессов опирается на транзакционные данные информационных систем предприятия; хранилище данных, если оно существует, служит хорошим источником для использования в бизнес-процессах интеллектуального анализа данных. Однако, учитывая объем и изменчивость типов данных в хранилищах данных, необходимо определить четкую цель инициативы по анализу процессов, чтобы данные были соответствующим образом ограничены и отфильтрованы. Нецелесообразно анализировать журналы событий хранилища данных организации или извлекать журнал событий для конкретной корпоративной системы, поскольку для этого потребуется слишком много времени и усилий. Некоторые приложения – такие, как системы планирования ресурсов предприятия (англ. Enterprise Resource Planning, EPR), имеют тысячи таблиц базы данных, что делает бесполезным проект по анализу процессов, если его цели четко не определены.

Табл. 2. Трассировки процессов  
 Tab. 2. Process traces

CaseID	Trace
1	{A, B, C, D}
2	{A, C, B, D}
3	{A, E, D}

**Задачи Process Mining.** Методы интеллектуального анализа процессов в основном сосредоточены на следующих трех задачах, как показано на рис. 3:

- 1) обнаружение модели процесса: обнаружение и изучение точной модели процесса, которая описывает наблюдаемое поведение на основе данных о событиях и представляет выполняемый бизнес-процесс;
- 2) проверка соответствия: сравнение существующей модели процесса с журналом событий того же процесса;
- 3) усовершенствование процессов: расширение и улучшение существующей модели процесса на основе данных о реальном процессе, записанных в каком-либо журнале событий.

На рис. 4 показаны задачи РМ с точки зрения входов и выходов.

**Алгоритмы Process Mining и модели представления.** В области моделирования процессов был разработан ряд алгоритмов, позволяющих строить модели процессов на основе журналов событий. Среди них стоит упомянуть:

- Альфа-майнер;
- Альфа+, Альфа++, Альфа#;
- нечеткий майнер;
- эвристический майнер;
- многофазный майнер;

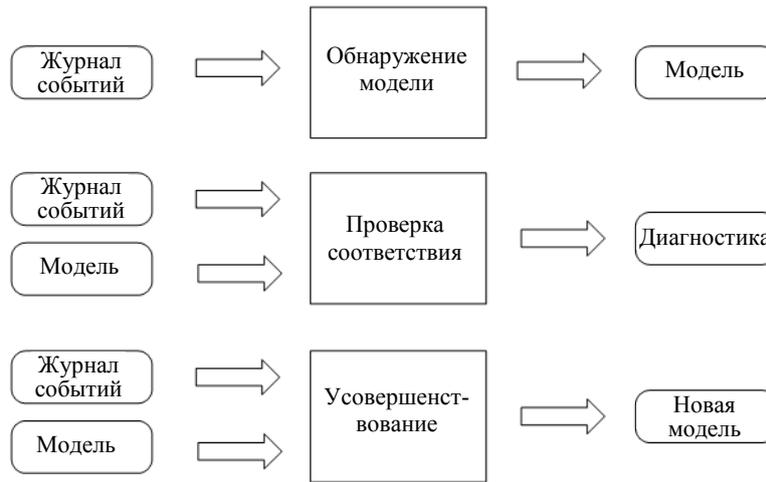


Рис. 4. Задачи process mining с учетом входов/выходов  
 Fig. 4. Process mining tasks with inputs/outputs



Рис. 5. Предлагаемая методология интеллектуального анализа процессов  
 Fig. 5. Proposed methodology for process mining

• классические подходы, не связанные с параллелизмом (индуктивный вывод и анализ последовательности).

Также необходимо иметь подходящие средства для представления готовой модели процесса конечному пользователю.

Как правило, обычно используются:

- 1) блок-схемы;
- 2) диаграммы потока данных (DFD);
- 3) диаграммы ролевой активности (RAD);
- 4) диаграммы взаимодействия ролей (RID);
- 5) диаграммы Ганта;
- 6) интегрированное определение для функционального моделирования (IDEF);
- 7) сети Петри;

8) объектно-ориентированные методы (например, метод объектно-ориентированного проектирования (OOD) или UML);

9) методы рабочего процесса с различными языками обозначений (языки на основе графов, сетевые языки (на основе сетей Петри) и языки программирования рабочих процессов);

10) а также набравшие популярность в настоящее время нотация моделирования бизнес-процессов (BPMN) или Event-Driven Process Chain (EPC).

**Методология Process Mining.** Проведение успешного проекта исследования процессов, будь то ручной аудит или создание проекта анализа и улучшения процессов, нетривиально. Рекомендуется придерживаться системного подхода. Далее ав-

торы представляют общую методологию, которую можно использовать в соответствии с требованиями конкретного проекта (см. рис. 5).

Методология состоит из шести этапов, связанных с несколькими различными входными и выходными объектами. Первые два этапа методологии – это (1) *планирование* и (2) *извлечение*, во время которых определяются вопросы начального анализа и извлекаются данные о событии. Объем процессов, период анализа, бизнес-вопросы, на которые необходимо ответить, состав команды и график анализа определяются во время планирования. Во время извлечения данных определяются требования к данным, область извлечения данных и проводится непосредственное извлечение. На этом этапе должны быть определены системы и таблицы, которые необходимо извлечь, атрибуты (поля данных), степень детализации данных и логика, с помощью которой данные должны быть собраны и связаны.

Следующий этап – (3) *обработка данных*. Во многих ситуациях извлеченные данные не могут быть непосредственно использованы для анализа процессов, а требуют некоторых этапов подготовки и преобразования. В зависимости от различных вопросов анализа обработка данных может выполняться несколько раз, чтобы обеспечить конкретный анализ. На этапе *исследования и анализа* (4) применяются различные методы интеллектуального анализа процессов, чтобы ответить на поставленные ранее вопросы анализа.

Устоявшиеся методы можно использовать для стандартных вопросов анализа, например «как выглядит конкретный процесс?». Однако если вопросы анализа более абстрактны, требуется более глубокий анализ, а иногда необходимо использовать комбинацию нескольких методов. Цель пятого этапа методологии интеллектуального анализа процессов, (5) *оценки*, состоит в том, чтобы связать результаты анализа с идеями по улучшению, которые достигают целей проекта. Это включает в себя правильную интерпретацию результатов. Стоит обратить внимание, что эта интерпретация должна быть подтверждена и проверена экспертами в предметной области.

Наконец, на этапе (6) *улучшения и поддержки* процесса информация, полученная на предыдущих этапах, используется для изменения фактического выполнения процесса. Наконец, интеллектуальный анализ процессов можно использовать для постоянного мониторинга процессов и поддержки устойчивых изменений в работе.

**Применение Process Mining в управлении проектами.** В настоящее время в проектных организациях применяются различные программные системы, включая ERP, CRM, которые могут вести свои журналы событий. Как представляется авторам, анализ данных этих журналов может быть успешно выполнен с применением методов и моделей интеллектуального анализа процессов. Последующий анализ соответствия полученных моделей, реальных данных и оценки экспертов может послужить оптимизации бизнес-процессов управления проектами внутри организации и, как следствие, способствовать ее развитию.

На взгляд авторов, на основе данных журналов событий программных систем, использующихся внутри проектной организации, целесообразны построение и анализ моделей следующих бизнес-процессов внутри процесса управления проектом:

1) управление интеграцией проекта:

– как, кем, когда, в какие сроки был разработан план проекта,

– как, кем, когда, в какие сроки был согласован план проекта,

– были ли соблюдены все требования при разработке плана проекта,

– были ли привлечены к разработке плана проекта все заинтересованные стороны, включая руководителей отделов,

– как, кем, когда проводилось руководство и управление проектом,

– как, кем, когда, в какие сроки проводились мониторинг и контроль выполнения работ проекта, внесение в него изменений,

– как, кем, когда, в какие сроки, с привлечением каких лиц был закрыт проект; был ли проект завершен успешно и насколько были выполнены все стоявшие задачи;

2) управление содержанием проекта:

– как, кем, когда, в какие сроки было проведено планирование содержания проекта,

– как, кем, когда, в какие сроки был произведен анализ требований проекта;

3) управление сроками проекта:

– как, кем, когда, в какие сроки было разработано расписание проекта;

– как, кем, когда, в какие сроки была разработана последовательность операций, действий внутри конкретной операции, а также их параметры и требования к квалификации исполнителей,

– кто, кем, когда был назначен исполнителем конкретной операции (действия); какова была реальная длительность выполнения данной опе-

рации (действия) исполнителем; какие ресурсы, в каком объеме и на каких сроках были привлечены для их выполнения;

4) управление стоимостью проекта:

– как, когда, кем, в каком объеме был составлен бюджет проекта; кем и когда он был согласован;

5) управление качеством проекта:

– кем, когда, как, в каком объеме и на каких этапах выполнялся контроль качества проекта (отдельных его этапов);

6) управление коммуникациями проекта:

– когда, кто, с кем и на каких этапах контактировал из лиц, занятых в работе над проектом,  
– производились ли коммуникации с заказчиками и в каком объеме;

7) управление рисками проекта:

– какие риски проекта были выявлены на этап его планирования,  
– кто и кем был назначен ответственным за проект и отдельные его этапы,  
– когда, кем и в каком объеме проводился контроль рисков проекта.

**Заключение.** Process Mining – важный инструмент для современных проектных организаций, которым необходимо управлять нетривиальными операционными процессами. Методы интеллектуального анализа данных направлены на описание и понимание реальности на основе исторических данных, но это низкий уровень анализа, поскольку данные методы не ориентированы на процессы. В отличие от большинства подходов BPM, Process Mining основан на фактических данных о событиях, а не на созданных вручную моделях, – поэтому Process Mining называют мостом между BPM и Data Mining.

Process Mining не ограничивается обнаружением процессов. Соединение журнала событий и модели процесса открывает новые пути для анализа. Обнаруженная модель процесса также мо-

жет быть дополнена информацией, полученной от различных экспертов.

Тем не менее, как достаточно новый подход РМ имеет много нерешенных проблем. Авторами отмечены следующие из них:

– отсутствие отрицательных примеров (т. е. журнал показывает, что произошло, но не показывает, чего не могло произойти);

– предварительная обработка журнала событий (проблемы с шумом и неполнотой);

– нет ясности, как правильно распознавать атрибуты журнала событий;

– из-за параллелизма, циклов и множества вариантов выбора область поиска имеет сложную структуру, и журнал обычно содержит только часть всех возможных вариантов поведения;

– нет четкой связи между размером модели и ее поведением (т. е. модель меньшего размера может генерировать большее или меньшее поведение, хотя классические методы анализа и оценки обычно предполагают некоторое свойство монотонности);

– баланс между критериями качества, – пригодностью, простотой, точностью и обобщением;

– повышение удобства использования и понятности для неспециалистов.

В данной статье авторами предложена методология использования Process Mining, которая может быть внедрена в организациях, занятых проектной деятельностью. В рамках данной методологии авторами выделены бизнес-процессы внутри процесса управления проектами, для которых целесообразно построение и анализ их моделей с целью более эффективного управления проектами организации. Внедрение данной методологии, а также построение вышеупомянутых моделей бизнес-процессов позволит данным организациям вести проекты с большей эффективностью и меньшими затратами всех используемых ресурсов.

#### Список литературы

1. AlShathry O. Business process management: A maturity assessment of Saudi Arabian Organizations // Business Proc. Management J. 2015. Vol. 22, no. 3. P. 507–521. doi: 10.1108/BPMJ-07-2015-0101.  
2. Ugan M. C. Standardization through process documentation // Business Proc. Management J. 2006. Vol. 12, no. 2. P. 135–148. doi: 10.1108/14637150610657495.  
3. Gray J. V., Anand G., Roth A. V. The influence of ISO 9000 Certification on process compliance // Production and Operations Management. 2015. Vol. 24, no. 3. P. 369–382. doi: 10.1111/poms.12252.

4. Van der Aalst W. M. P. Process mining: Overview and opportunities // ACM Transactions on Management Information Systems. 2012. Vol. 3, no. 2. P. 1–17. doi: 10.1145/2229156.2229157.  
5. Opportunities for process improvement: a cross-clientele analysis of event data using process mining / R. P. J. C. Bose, A. Gupta, D. Chander, A. Ramanath, K. Dasgupta // Intern. Conf. on Service-Oriented Computing, ICSOC 2015. Berlin, 2015. P. 444–460. doi: 10.1007/978-3-662-48616-0\_31.  
6. Process mining: From theory to practice / C. Turner, A. Tiwari, R. Olaiya, Y. Xu // Business Process

Management J. 2012. Vol. 18, no. 3. P. 493–512. doi: 10.1108/14637151211232669.

7. Agrawal R., Gunopulos D., Leymann F. Mining process models from workflow logs // Intern. Conf. on Extending Database Technol., EDBT'98. Valencia, Spain, 1998. P. 467–483. doi: 10.1007/BFb0101003.

8. Buijs J. C. A. M., van Dongen B. F., van der Aalst W. M. P. Mining configurable process models from collections of event logs. Business process management // 11<sup>th</sup> Intern. Conf., BPM 2013. Beijing, China, 2013. P. 33–48. doi: 10.1007/978-3-642-40176-3\_5.

### Информация об авторах

**Васильев Анатолий Александрович** – аспирант кафедры САПР СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

E-mail: tolya051996@mail.ru

**Горячев Александр Вадимович** – канд. техн. наук, доцент кафедры САПР СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

E-mail: avgoryachev@gmail.com

### References

1. AlShathry O. Business process management: A maturity assessment of Saudi Arabian Organizations // Business Proc. Management J. 2015. Vol. 22, no. 3. P. 507–521. doi: 10.1108/BPMJ-07-2015-0101.

2. Ugan M. C. Standardization through process documentation // Business Proc. Management J. 2006. Vol. 12, no. 2. P. 135–148. doi: 10.1108/14637150610657495.

3. Gray J. V., Anand G., Roth A. V. The influence of ISO 9000 Certification on process compliance // Production and Operations Management. 2015. Vol. 24, no. 3. P. 369–382. doi: 10.1111/poms.12252.

4. Van der Aalst W. M. P. Process mining: Overview and opportunities // ACM Transactions on Management Information Systems. 2012. Vol. 3, no. 2. P. 1–17. doi: 10.1145/2229156.2229157.

5. Opportunities for process improvement: A cross-clientele analysis of event data using process mining /

R. P. J. C. Bose, A. Gupta, D. Chander, A. Ramanath, K. Dasgupta // Intern. Conf. on Service-Oriented Computing, ICSOC 2015. Berlin, 2015. P. 444–460. doi: 10.1007/978-3-662-48616-0\_31.

6. Process mining: From theory to practice / C. Turner, A. Tiwari, R. Olaiya, Y. Xu // Business Proc. Management J. 2012. Vol. 18, no. 3. P. 493–512. doi: 10.1108/14637151211232669.

7. Agrawal R., Gunopulos D., Leymann F. Mining process models from workflow logs // Intern. Conf. on Extending Database Technology, EDBT'98. Valencia, Spain, 1998. P. 467–483. doi: 10.1007/BFb0101003.

8. Buijs J. C. A. M., van Dongen B. F., van der Aalst W. M. P. Mining configurable process models from collections of event Logs. Business process management // 11<sup>th</sup> Intern. Conf., BPM 2013. Beijing, China, 2013. P. 33–48. doi: 10.1007/978-3-642-40176-3\_5.

### Information about the authors

**Anatoly A. Vasiliev** – postgraduate student of the Department of System Computer-Aided Design of Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: tolya051996@mail.ru

**Alexandr V. Goryachev** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of System Computer-Aided Design of Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: avgoryachev@gmail.com

Статья поступила в редакцию 17.12.2022; принята к публикации после рецензирования 13.01.2023; опубликована онлайн 25.03.2023.

Submitted 17.12.2022; accepted 13.01.2023; published online 25.03.2023.