

УДК 004

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОТОКОВ РАБОТ

© Авторы, 2018

© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2018

Н.Н. Войт

к.т.н., доцент, доцент кафедры «Вычислительная техника», Ульяновский государственный технический университет

E-mail: n.voit@ulstu.ru

Аннотация. Предложена и исследована автоматизация проектирования потоков работ в условиях промышленного предприятия, основанная на разработанном математическом, программно-информационном обеспечении. Предложенная автоматизация проектирования потоков работ обеспечивает повышение качества потоков работ за счет контроля и анализа новых типов семантических ошибок, которые существующими методами и средствами невозможно определить и контролировать.

Annotation. Automation of design of work flows in the conditions of the industrial enterprise based on the developed mathematical, software and information support is offered and investigated. The proposed automation of the design of the flow of work provides an increase in the quality of workflows through the control and analysis of new types of semantic errors that existing methods and means can not be determined and controlled.

Расширенный реферат

Фундаментальной научной проблемой теории управления бизнес-процессами является повышение эффективности синтеза и обработки диаграмматических моделей потоков проект-

ных работ автоматизированных систем с целью сокращения временных затрат на их разработку, повышение успешности обработки диаграмматических моделей потоков проектных работ, а именно выполнение требования к ресурсным ограничениям, функционалу, финансовой составляющей и срокам исполнения, а также повышение качества диаграмматических моделей в плане контроля ошибок, сужения семантического разрыва между анализом бизнес-процессов и их выполнением, кроме этого при синтезе и преобразовании диаграмматических моделей необходимо сохранение свойства эмерджентности бизнес-процесса.

Поток работ представляет собой трассу выполнения множества задач бизнес-процесса с учетом ограничений и бизнес-событий, содержит временные ограничения и данные, в котором, чтобы избежать сбоев, необходимо определить и исправить ошибки. Хотя ошибки могут возникать в причинно-следственных связях между задачами, в работе акцентируется внимание на семантических ошибках выполнения потока работ, а именно на денотативной и сигнификативной семантике. Денотативная семантика определяет ошибки антонимии, синонимии слов в событиях потока работ. Сигнификативная семантика выявляет конструкционные ошибки потока работ на основе изоморфизма и гомоморфизма трасс. Как правило, прием Ad-hoc в потоке работ является надстройкой и делает процесс нестрогим (неформализованным), тем самым нарушая канонические правила выполнения процесса. Как следствие выполнение такого потока работ может привести к снижению производительности в проектировании автоматизированных систем, снижению прибыли и расходованию значительного управленческого времени.

Автором предложена и исследована автоматизация проектирования потоков работ в условиях промышленного предприятия, основанная на разработанном математическом, программно-информационном обеспечении. Предложенная автоматизация проектирования потоков работ обеспечивает повышение качества потоков работ за счет контроля и анализа новых типов семантических ошибок, которые существующими методами и средствами невозможно определить и контролировать. Также в научно плане достигнута линейная закономерностью

затрат времени обработки потоков работ, являющаяся главным отличием от аналогичных подходов обработки потоков работ, имеющих экспоненциальную или полиномиальную зависимость обработки от времени. Детально исследованы существующие парадигмы, модели и методы анализа и синтеза диаграмматических моделей гибридных динамических потоков проектных работ. Следует отметить, что эффективность синтеза бизнес-процессов повышается за счет применения теории Workflow mining (интеллектуального анализа потоков работ) к системам управления потоками работ (PLM-системы), чтобы получить, например из лог-файлов PLM-системы, необходимые данные о выполненных работах. Эмерджентность бизнес-процесса является его свойством, определенное не как сумма свойств составных потоков работ, а как не характерное отдельным потокам работ свойства и появившиеся за счет новых связей работ в потоке (конструкционных или сигнификативных компонентов в диаграмматическом базисе модели). Например, пара работ «Разработка-Согласование» в потоке характеризуется появлением на выходе не черновой версии проектного решения (эскиза), а – рабочего технического задания или хоздоговора-контракта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-07-01417. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научного проекта № 18-47-730032.

The fundamental scientific problem of the theory of business process management is to increase the efficiency of synthesis and processing of diagram models of flows of design work of automated systems in order to reduce the time spent on their development, increase the success of processing diagram models of flows of project work, namely the implementation of the requirements for resource constraints, functionality, financial component and deadlines, as well as improving the quality of diagram models in terms of error control., narrowing the semantic gap between the analysis of business processes and their implementation, in addition, the synthesis and transformation of the digram-TIC models need to preserve the properties of the emergence of the business process.

A workflow is a track perform a variety of tasks in a business process with constraints and business events contains the time constraints and data, to Thor, to avoid failures, identify and fix errors. Although errors can occur in cause-and-effect relationships between tasks, the work focuses on semantic errors in the workflow, namely denotative and significative semantics. Denotative semantics defines the errors of antonymy, synonymy of words in the events of the work flow. The significative semantics reveals the constructional errors of the work flow on the basis of isomorphism and homomorphism of traces. As a rule, Ad-hoc reception in the workflow is an add-in and makes the process non-strict (informal), thereby violating the canonical rules of the process execution. As a result, the implementation of such a flow of work can lead to a decrease in productivity in the design of automated systems, reduce profits and spend significant management time.

The author proposes and investigates the automation of design of work flows in an industrial enterprise, based on the developed mathematical, software and information support. The proposed automation of design of work flows provides an increase in the quality of work flows due to the control and analysis of new types of semantic errors that existing methods and means could not be determined and controlled. Also, in scientific terms, a linear time-consuming uniformity of work flow processing has been achieved, which is the main difference from similar approaches of work flow processing, having an exponential or poly-nomial dependence of processing on time. The existing paradigms, models and methods of analysis and synthesis of diagram models of hybrid dynamic flows of design work are studied in detail. It should be noted that the efficiency of business process synthesis is increased by applying the theory of Workflow mining (intelligent analysis of work flows) to work flow management systems (PLM systems) to obtain, for example, from the log files of the PLM system, the necessary data on the work performed. The emergence of a business process is its property, defined not as the sum of the properties of composite work flows, but as a property that is not characteristic of individual work flows and that has appeared due to new work relationships in the flow. For example, a couple of works "Development-Coordination" in the flow is characterized by

the appearance of the output is not a draft version of the project-s decision (sketch), and – working terms of reference or economic contract-contract.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 17-07-01417 and Russian Foundation for Basic Research and the government of the region of the Russian Federation, grant № 18-47-730032.

Ключевые слова: грамматика, язык, диаграмматика, временной автомат, темпоральная логика, анализ, синтез, контроль, моделирование, хореография, оркестровка, бизнес-процессы, потоки работ.

Key words: grammar, language, diagrammatic, timed automaton, temporal logic, analysis, synthesis, control, modelling, choreography, orchestration, business process, workflow.

Введение

При структурно-семантическом синтезе и обработке потоков проектных работ в настоящее время все больше доминирует парадигма, связанная с гибридным динамическим характером их сущности. Гибридность определяется не только как разработка моделей с использованием различных диаграмматических базисов (например, UML AD [1], BPMN [2], IDEF0 [3]), но и как композиция оркестрации и хореографии [4, 5] в виде ансамбля. Динамичность определяется необходимостью немедленного реагирования на возникающие производственные запросы и содержит понятие «время», поэтому устранение ошибок в потоках работ является значимой научно-технической проблемой. Под обработкой понимается анализ, контроль, преобразование и интерпретация потоков работ, причем анализ и контроль диаграмматических моделей на ошибки связаны с дено-

тативной и сигнификативной семантиками. Денотативная семантика диаграмматических моделей представлена последовательностью темпоральных слов формального автоматного языка в виде трасс и определяет антонимию, синонимию этих слов с целью выявления ошибок в событиях диаграмматических моделей. Сигнификативная семантика диаграмматических моделей выявляет отношения изоморфизма, гомоморфизма этих трасс с целью локализации конструкционных ошибок в диаграмматических моделях, а также для последующего их преобразования. Изменение конструкции диаграмматических моделей возможно при выявленных синонимах, антонимах графических слов, изоморфных трасс и возможности объединения таких трасс в единую трассу. Необходимым условием преобразования потока проектных работ является наличие семантической ошибки. Выявление таких ошибок возможно с помощью пошаговой автоматизированной интерпретации (трассировки) потока проектных работ в режиме отладки. Автоматные грамматики позволяют представить диаграмматическую модель потока проектных работ в виде графа с вершинами, дугами и в наглядной форме представлять процесс интерпретации потока проектных работ как систему переходов.

Методы анализа могут применять для исследования качественных и количественных характеристик потоков проектных работ. Под качественными характеристиками понимается логико-алгебраическая корректность потоков работ, формализованная с помощью теории графов, сетей потоков работ, матриц паросочетаний, графических языков моделирования, в том числе Unified Model

Language, Business Process Management Notation, IDEF0 и eEPC и др., а также эволюционного подхода, логики высказываний и др. Количественные характеристики представляют эффективность исполнения потоков работ по параметрам, например, таким как среднее время обслуживания, коэффициент использования производственных мощностей (простой оборудования) и т.п. Оценка эффективности потоков работ выполняется с помощью имитационного моделирования (сети Петри), цепей Маркова и теории очередей (систем массового обслуживания).

Как правило синтез потоков работ основан на Workflow mining как интерактивном направлении теории управления бизнес-процессами, решающем обратную задачу [6] автоматизации проектирования потоков работ [7, 8, 9, 10], которые формируются в ней на основе событий о выполненных задачах (например, по информации лог-файлов системы управления потоками работ). Моделируемый фрагмент или полный бизнес-процесс как правило представляется потоком работ в графических конструкциях (нотациях). Такие потоки работ формализуются как паттерны и являются многократно используемыми типовыми структурными единицами Workflow mining. Следует отметить, что сферы применения теории управления бизнес-процессами и потоками работ обширные и включают человеко-компьютерное взаимодействие (например, в промышленности – конструкторская подготовка производства). Современные системы управления бизнес-процессами такие, как SAP, PeopleSoft, Oracle, CRM (Customer Relationship Management) software применяют теорию управления бизнес-процессами в виде

компьютеризованных технологий, модулей. Моделирование бизнес-процесса в таких системах далеко не тривиальная задача и требует понимание языка описания бизнес-процесса (например, BPMN) и подробное обсуждения проблемы с вовлеченными в процесс работниками и руководством. Главным образом Workflow mining полезен при анализе новой системы в плане понимания того, как конечный пользователь (потребитель, проектировщик, программист, эксперт и т.п.) работает с этой системой, при этом бизнес-эффекты от применения Workflow mining в управлении бизнес-процессами следующие: уменьшает время и стоимость анализа, потому что большая часть информационных систем имеет данные журнала (лог-файлы), которые доступны без любых дополнительных расходов; предоставляет объективную информацию о любом учете, поскольку журналы потоков работ являются беспристрастным отражением выполненных работ; позволяет формальную проверку свойств потоков работ с помощью моделирования процесса перед его введением в эксплуатацию; поддерживает несколько представлений одного и того же бизнес-процесса с помощью алгоритмов синтеза и преобразования моделей; позволяет произвольный выход из циклов потока работ (вводится специальный ациклический поток работ), когда это необходимо (например, при досрочном выходе из цикла во время трассировки потока работ); допускает многократное изменения характеристик диаграмматической модели на работающем экземпляре потока работ во время его исполнения на основе контрольных точек (check point).

Исследование парадигм анализа потоков работ

Существуют следующие парадигмы анализа и контроля качественных характеристик потоков работ: model checking (проверка модели); проверка эквивалентности; дедуктивная верификация (язык Prolog). Подход model checking предназначен для анализа, контроля потоков работ с помощью формальной проверки того, выполняется ли заданная логическая формула на данной структуре (будет ли заданная логическая формула Φ истинна для данной системы переходов M , т. е. будет ли M моделью Φ). Главным недостатком подхода является исследование модели, а не самой системы, поэтому возникает вопрос об адекватности модели к системе, при этом сложность решения перечисленных выше задач является экспоненциальной. При дедуктивной верификации выполняется проверка правильности потока работ, которая сводится к доказательству теорем в подходящей логической системе с помощью аксиом и правил вывода (например, с помощью языка Пролог, автоматных грамматик и т.п.). Эта весьма сложная процедура не может быть полностью автоматизирована, она требует участия человека, действующего на основе предположений и догадок, использующего интуицию при построении инвариантов и нетривиальном выборе альтернатив. При проверке эквивалентности определяется эквивалентность формальных моделей спецификации, реализации и выполнения (поведения) потоков работ на основе алгебры процессов (Исчисления взаимодействующих систем). Имитационное моделирование является гибким подходом анализа и применяется практически всегда к анализу потоков работ, которое сводится к определению пути в

графе достижимости с учетом вероятностей распределения. Многократное выполнение потоков работ с помощью компьютера обеспечивает «легкость» понимания функционала людям, не имеющих математической подготовки. Наглядное представление и анализ выполнения потоков работ имеется во многих инструментальных средствах моделирования потоков работ. Как правило используют сети Петри при моделировании и анализируются следующие свойства: достижимость (reachability) – которое устанавливает, что конечное состояние системы будет достигнуто при любой последовательности переходов от позиции i . Данное свойство также подразумевает, что при достижении конечной позиции данной сети отсутствуют фишки в промежуточных позициях; безопасность (safety) – устанавливает, что в процессах отсутствуют зависания (deadlocks), заикливания, тупики; живость (liveness) – устанавливает, что система не содержит лишних позиций, которые никогда не будут выполнены. Отсутствие живости означает либо избыточность бизнес-процесса в проектируемой системе, либо свидетельствует о возможности возникновения заикливаний, тупиков, блокировок.

Интенсивность потока, коэффициент передачи, время ожидания, время обслуживания и коэффициент загрузки производственных мощностей можно рассчитать с помощью теории очередей. Если нас интересует формирование отдельной очереди к нескольким однотипным ресурсам, то нужно ограничиться системой с одной очередью. При рассмотрении всего потока лучше использовать системы массового обслуживания. Основными моделями, использу-

емыми в теории массового обслуживания, являются одно- и многоканальные системы массового обслуживания (СМО). Наиболее простую модель потоков работ для определения трудоемкости соответствующего этапа можно получить, если принять допущение об отсутствии последствия в процессе, означающем, что следующая работа в потоке зависит только от текущего состояния и не зависит от предыдущих состояний. В таком случае поток работ становится марковским процессом, определяемым множеством присущих ему состояний и матрицей вероятностей переходов, и распределением вероятностей состояний в начальный момент времени.

Математическое обеспечение автоматизации проектирования потоков работ

Грамматико-алгебраический подход как система принципов, методов, моделей, темпоральная автоматная грамматика *RVPI*-грамматика семейства *RV*-грамматик и онтология является основой математического обеспечения, разработанного и представленного автором в следующих работах [11, 12]. В настоящей работе автор формализует ошибки денотативной и сигнификативной семантики диаграмматических моделей потоков проектных работ, предлагает процедуру синтеза потока работ по данным журнала, лог-файла и т.п. системы управления потоками работ. К семантическим ошибкам диаграмматических моделей потоков работ относятся следующие ошибки.

Несоответствие синонимов (денотативная ошибка).

Темпоральные слова визуального языка (\tilde{a}_l, t_i) и (\tilde{a}_k, t_j) являются синонимами тогда и только тогда, когда $\tilde{a}_l \neq \tilde{a}_k, \tilde{a}_l \equiv \tilde{a}_k, t_i < t_j$ и обозначается синонимия слов как $(\tilde{a}_l, t_i) \equiv (\tilde{a}_k, t_j)$. Тожественное равенство слова определяет подобие (сходство) структуры и значений признаков денотата. Ошибкой является ситуация, когда наименование денотатов слов, в двух темпоральных трассах графического языка схожие, но значения других признаков сильно разнятся. На практике такая ситуация представлена следующим образом, при анализе диаграмматической модели визуального языка выявляется структурное подобие слов и имен денотатов, но значения остальных признаков денотатов слов различны. Представлять варианты состава изделий при различных условиях: в исполнениях, заменимости и взаимозаменяемости, в этой ситуации выполнение взаимозаменяемости таких слов в диаграмматической модели визуального языка является ошибкой несоответствия синонимов.

Несоответствие антонимов (денотативная ошибка).

Темпоральные слова визуального языка (\tilde{a}_l, t_i) и (\tilde{a}_k, t_j) являются антонимами тогда и только тогда, когда $\tilde{a}_l = \neg \tilde{a}_k, t_i < t_j$ и обозначается антонимия слов как $(\tilde{a}_l, t_i) \equiv (\neg \tilde{a}_k, t_k)$. Тожественное противоположность двух слов определяет подобие (сходство) структуры и противоположность (инверсность) значений признаков денотата. Как правило, слова «Начало» и «Конец» в диаграмматике является антонимами графического языка. Ошибкой является проектная ситуация, когда

наименование денотатов слов в двух темпоральных трассах графического языка противоположные (инверсные), но значения других признаков сильно схожие. На практике такая ситуация представлена следующим образом, при анализе диаграмматической модели визуального языка выявляется структурное подобие слов и инверсия имен денотатов, но значения остальных признаков денотатов слов схожие. В этой ситуации выполнение взаимозаменяемости таких слов в диаграмматической модели визуального языка является ошибкой несоответствия антонимов.

Конверсивность отношений заключается в связывании антонимов диаграмматических моделей визуальных языков, описывающих одну и ту же проектную ситуацию, но с разных ролей. Ошибка конверсивности отношений является сигнификативной, т.е. структурной (конструкционной), и определяется как отсутствие этих отношений между антонимами диаграмматических моделей, описывающих одну и ту же проектную ситуацию, но с разных ролей.

Несогласованность объектов является сигнификативной ошибкой. Заключается в отсутствии отношения между зависимыми темпоральными словами.

Процедура синтеза потока работ выполняет принцип *сегрегации* [7] по экспериментальным данным и содержит следующие шаги.

1. Чтение данных журнала, лог-файла и т.п. системы управления потоками работ.
2. Формирование таблицы проектных ситуаций и событий по полученным данным. Таблица может иметь следующий вид (таблица 1).

Таблица 1. Пример оформления таблицы паросочетаний
«Проектная ситуация-Событие».

№	Проектная ситуация	Событие
1	Ситуация1	А
2	Ситуация2	Б
3	Ситуация3	В
4	Ситуация1	Г
5	Ситуация1	Д
n	СитуацияМ	Я

3. Синтез потоков работ по данным таблицы 1 (рис. 1).

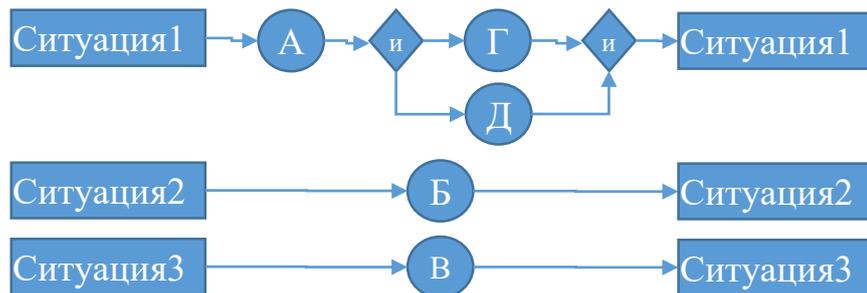


Рис. 1. Образец синтеза потока работы по данным таблицы 1

4. Обобщение потоков работ с учетом эмерджентности в единый бизнес-процесс (рис. 2).

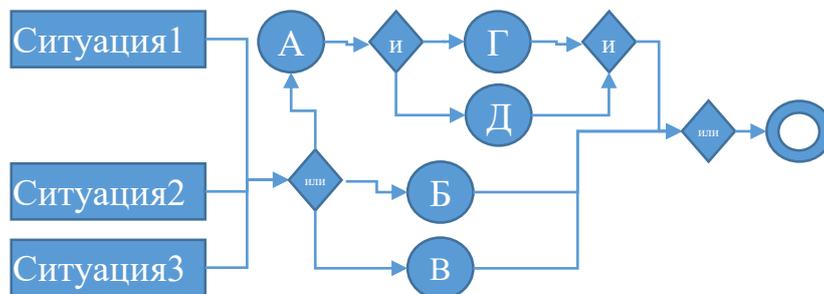


Рис. 2. Образец обобщения потоков работ

Программно-информационное обеспечение автоматизации проектирования потоков работ

В работе [11] автором были исследованы программно-информационные средства автоматизации проектирования потоков работ. В данной работе автор предлагает собственный плагин для MS Visio, анализирующий структурные и семантические ошибки в диаграмматических моделях гибридных динамических потоков проектных работ. После установки плагина в главном меню MS Visio в пункте «Надстройки» появится пункт «Анализировать», при нажатии которого выполняется проверка диаграмматической модели на наличие 23 типов ошибок. Фрагмент диаграмматической модели, содержащий ошибку (например, «тупик»), локализуется с помощью выделения красным цветом всех ошибочных элементов модели, выводится сообщение о месте и типе ошибки, из которого ясно как устранить ее. Пример анализа диаграмматической модели в нотациях визуального языка BPMN приведен на рис. 3, на котором в результате анализа определены ошибки Deadlock («тупик»), «Неверное количество соединений», «Несоединенный элемент». Программная реализация решения задачи анализа потоков работ с помощью авторского подхода подтвердила на практике линейную сложность авторского решения (теоретическое доказательство авторского решения было описано в работах [11, 12]).

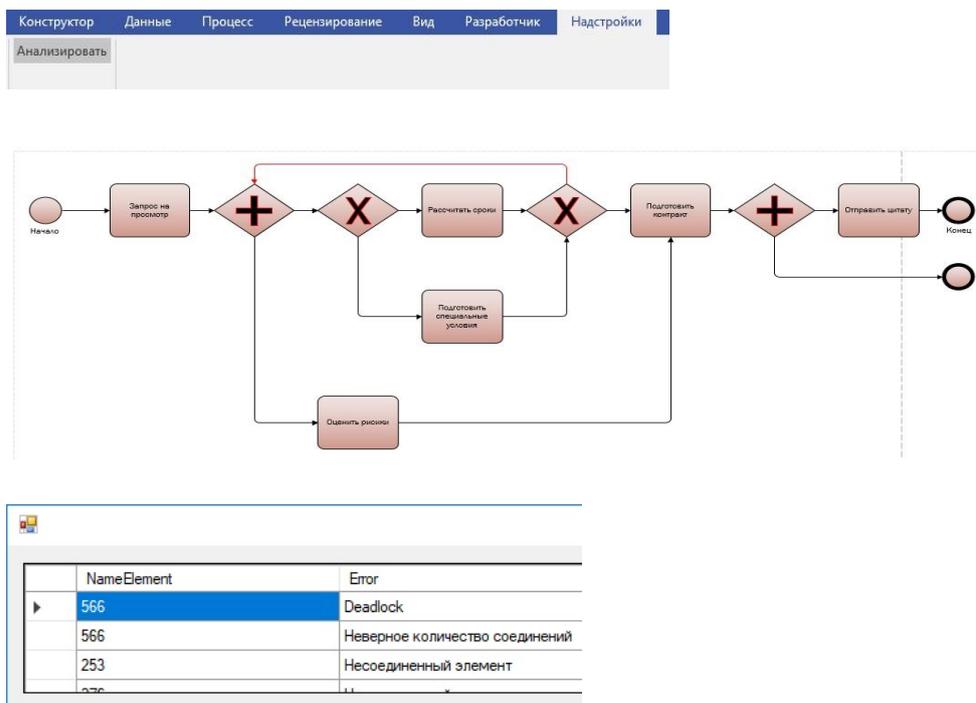


Рис. 3. Пример анализа диаграмматической модели с помощью авторского плагина в среде MS Visio

Заключение

Разработаны и исследованы методы и средства автоматизации проектирования потоков работ, предложен математический аппарат и программное средство анализа потоков работ. Расширен класс семантических ошибок денотативными и сигнификативными ошибками («Несоответствие синонимов», «Несоответствие антонимов», «Ошибка конверсивности отношений» и «Несоогласованность объектов»). Предложена проектная процедура синтеза потоков работ по данным журналов, лог-файлов и т.п. систем управления потоками работ. Апробация разработанной программной среды анализа диаграмматических моделей потоков работ выполнена на АО «Ульяновский механический завод» в Управлении ин-

формационных технологий на примере бизнес-процесса подготовки конструкторской документации. Дальнейшие исследования связаны с разработкой и исследованием метод анализа структурно-параметрических особенностей и синтеза диаграмматических моделей гибридных динамических потоков проектных работ. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-07-01417. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научного проекта № 18-47-730032.

Литература

1. Booch G, Jacobson I, Rumbaugh J 1998 The Unified Modeling Language User Guide Addison-Wesley
2. Model B P 2011 Notation (BPMN), v. 2.0 OMG www.omg.org/spec/BPMN/2.0
3. Mayer R J, Painter M K, de Witte P S 1994 IDEF family of methods for concurrent engineering and business re-engineering applications College Station, Tex, USA: Knowledge Based Systems
4. Самуйлов К.Е., Серебренникова Н.В., Чукарин А.В., Яркина Н.В. Основы формальных методов описания бизнес-процессов: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 130 с.
5. Bock C 2008 Introduction to business process and definition metamodel U.S. National Institute of Standard and Technology. Manufacturing Engineering <https://www.nist.gov>
6. Tarantola A. Inverse problem theory and methods for model parameter estimation. – siam, 2005. – Т. 89. http://www.ipgp.fr/~tarantola/Files/Professional/Teaching/Diverse/Exercices/Example_1/CompleteDocument.pdf
7. International Journal of Information Technology and Knowledge Management July-December 2011, Volume 4, No. 2, pp. 719-722

8. W.M.P. van der Aalst, A.J.M.M. Weijters, and L. Maruster “Workflow Mining: Which Processes Can be Rediscovered?”.
9. W.M.P. van der Aalst, A.J.M.M. Weijters, and L. Maruster “Workflow Mining: Discovering Process Models from Event Logs”.
10. Joachim Herbst, Niko Kleiner “Interactive Workflow Mining - Requirements, Concepts and Implementation Markus Hammori”.
11. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Грамматико-алгебраический подход к анализу и синтезу диаграмматических моделей гибридных динамических потоков проектных работ // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2017. – Т. 15. – № 12. – С. 69-78.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=32465657>
12. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Уханова М.Е. Контроль и анализ денотативных и сигнификативных семантических ошибок диаграмматических моделей потоков работ в проектировании автоматизированных систем // Радиотехника. – 2018. – № 6. – С. 84-92.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=35295882>

AUTOMATED METHODS AND SOFTWARE FOR DESIGNING OF WORKFLOWS

© Authors, 2018

© Radiotekhnika, 2018

N.N. Voit

Ph. D., associate Professor of the Department «Computing technique» of Ulyanovsk state technical University, Deputy Director on research work of Institute of distance and further education of Ulyanovsk state technical University

E-mail: n.voit@ulstu.ru

Annotation. Automation of design of work flows in the conditions of the industrial enterprise based on the developed mathematical, software and information support is offered and investigated. The

proposed automation of the design of the flow of work provides an increase in the quality of work-flows through the control and analysis of new types of semantic errors that existing methods and means can not be determined and controlled.

References

1. Booch G, Jacobson I, Rumbaugh J 1998 The Unified Modeling Language User Guide Addison-Wesley
2. Model B P 2011 Notation (BPMN), v. 2.0 OMG www.omg.org/spec/BPMN/2.0
3. Mayer R J, Painter M K, de Witte P S 1994 IDEF family of methods for concurrent engineering and business re-engineering applications College Station, Tex, USA: Knowledge Based Systems
4. Samuilov K.E., Serebrennikova N.V., Chukarin A.V., Yarkina N.V. Osnovy formal'nyh metodov opisaniya biznes-processov: Ucheb. posobie. – M.: RUDN, 2008. – 130 s.
5. Bock C 2008 Introduction to business process and definition metamodel U.S. National Institute of Standard and Technology. Manufacturing Engineering <https://www.nist.gov>
6. Tarantola A. Inverse problem theory and methods for model parameter estimation. – siam, 2005. – T. 89. http://www.ipgp.fr/~tarantola/Files/Professional/Teaching/Diverse/Exercises/Example_1/CompleteDocument.pdf
7. International Journal of Information Technology and Knowledge Management July-December 2011, Volume 4, No. 2, pp. 719-722
8. W.M.P. van der Aalst, A.J.M.M. Weijters, and L. Maruster “Workflow Mining: Which Processes Can be Rediscovered?”.
9. W.M.P. van der Aalst, A.J.M.M. Weijters, and L. Maruster “Workflow Mining: Discovering Process Models from Event Logs”.
10. Joachim Herbst, Niko Kleiner “Interactive Workflow Mining - Requirements, Concepts and Implementation Markus Hammori”.

11. Afanas'ev A.N., Voit N.N. Grammatiko-algebraicheskiy podhod k analizu i sintezu diagrammaticeskikh modelei gibridnykh dinamicheskikh potokov proektnykh rabot // Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushie sistemy. – 2017. – T. 15. № 12. – S. 69-78. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32465657>
12. Afanas'ev A.N., Voit N.N., Uhanova M.E. Kontrol' i analiz denotativnykh i signifikativnykh semanticheskikh oshibok diagrammaticeskikh modelei potokov rabot v proektirovanii avtomatizirovannykh sistem // Radiotekhnika. – 2018. № 6. – S. 84-92. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35295882>

Краткие сведения об авторах статьи

Войт Николай Николаевич

ученая степень – кандидат технических наук;

ученое звание – доцент;

должность – доцент кафедры «Вычислительная техника» Ульяновского государственного технического университета, заместитель директора по НИР ИДДО Ульяновского государственного технического университета;

число опубликованных научных работ – 220;

область научных исследований – проектирование автоматизированных систем

название организации, в которой работает автор – Ульяновский государственный технический университет;

полный адрес организации – Россия, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32;

контактная информация для связи с авторами (телефон, адрес электронной почты) – тел. 8(8422)77-88-46, e-mail: n.voit@ulstu.ru.