

УДК 621.372

## АНАЛИЗ И КОНТРОЛЬ СЕМАНТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГРАММАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОТОКОВ РАБОТ<sup>27</sup>

А.Н. Афанасьев<sup>28</sup>, Р.Ф. Гайнуллин<sup>29</sup>,  
С.Ю. Кириллов<sup>30</sup>, В.С. Хородов<sup>31</sup>

**Аннотация:** Рассматриваются особенности диаграмматических моделей потоков работ, представленных в широко применяемых на практике артефактах визуальных языков UML, IDEF, eEPC, BPMN, SharePoint. Предлагается метод контроля семантической целостности таких моделей.

**Ключевые слова:** диаграмматические модели; автоматизированные системы; семантический анализ; онтологический подход; семантическая согласованность.

## ANALYSIS AND CONTROL OF SEMANTIC FEATURES OF DISTRIBUTED DYNAMIC DIAGRAMMATIC MODELS OF WORK FLOWS

A.N. Afanasyev, R.F. Gainullin,  
S.Y. Kirillov, V.S. Chorodov

**Abstract:** Particularities of the flow model diagrams presented in the widely used artifacts of the visual languages UML, IDEF, eEPC, BPMN, and SharePoint are considered. A method for controlling the semantic integrity of such models is proposed.

**Keywords:** diagrammatic models; automated systems; semantic analysis; ontological approach; semantic consistency.

---

<sup>27</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-47-732152.

<sup>28</sup> Ульяновск, УлГТУ, e-mail: a.afanasev@ulstu.ru.

<sup>29</sup> Ульяновск, УлГТУ, e-mail: r.gainullin@gmail.com.

<sup>30</sup> Ульяновск, УлГТУ, e-mail: s.kirillov@php73.ru.

<sup>31</sup> Ульяновск, ООО РИТГ, e-mail: v.khorodov73@gmail.com.

## **1. Использование диаграмматических моделей в задачах проектирования и эксплуатации сложных автоматизированных систем**

Диаграмматические модели, разработанные на визуальных языках (UML, IDEF, eEPC, BPMN, SharePoint, ER, DFD и др.) активно используются в практике проектирования сложных автоматизированных систем (САС), особенно на концептуальных этапах. К САС относятся в том числе среды для электронного обучения. В частности, открытая технологическая платформа дистанционного обучения Moodle содержит более 1,5 млн строк исходного кода. Например, в мастер-технологии RUP (Rational Unified Process) [1] основой представления архитектурно-программных решений является язык UML, а при использовании технологии ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) – eEPC. Применение диаграмматических моделей позволяет повысить эффективность проектных решений, избежать «дорогих» ошибок, улучшить понимание проекта исполнителями, организовать взаимодействие между заказчиками и исполнителями проекта, улучшить документирование проекта, в ряде случаев автоматизировать процесс получения программного кода. Решение этих задач связано с проблемой «успешности» создания САС. По данным исследований компании Standish Group [3] только около 40% проектов отвечают требованиям заявленной функциональности, реализованы в заданные сроки и в рамках заданной сметы.

В силу специфики современного проектирования САС рассматриваемые модели носят динамический и распределенный характер, что определяется изменяющимися в условиях внешней среды бизнес-процессами и работой удаленных коллективов проектировщиков.

При эксплуатации программно-информационных систем решаются две основные задачи: исправление ошибок и наращивание функциональности. Решение этих задач также связано с диаграмматическими моделями.

Таким образом, исследование структурных (в первую очередь топологических особенностей) и семантических (связность диаграмм, возможно представленных на различных визуальных языках, в части текстовой составляющей) является актуальной задачей, имеющей большое практическое значение в контексте рассматриваемых проблем проектирования и эксплуатации САС.

## **2. Язык UML**

Интегрированная модель САС в нотации UML может быть представлена в виде совокупности диаграмм (рис. 1) [4].



Рис. 1. Интегрированная модель САС в нотации UML-моделей

Основной структурной особенностью UML-диаграмм являются их комплексность. Например, вершина диаграммы использования может развертываться в диаграмму деятельности, отдельные блоки которой могут соответствовать диаграммам классов и т. д. В диаграмме деятельности могут быть использованы сложные конструкции, связанные с применением разветвителей типа «AND», «OR», «XOR», причем разветвители могут «стоять» на значительном удалении друг от друга и образовывать конструкции с удаленным контекстом.

Диаграммы не должны содержать противоречивой информации. Противоречивость модели может служить причиной серьезных проблем при ее реализации и последующем использовании на практике. Например, наличие замкнутых путей при изображении отношений агрегирования или композиции приводит к ошибкам в программном коде, который будет реализовывать соответствующие классы. Наличие элементов с одинаковыми именами и различными атрибутами свойств в одном пространстве имен также приводит к неоднозначной интерпретации и может быть источником ошибок.

В коллективной разработке САС работа проектировщиков открывает дополнительные источники сложно диагностируемых, распределенных по множеству диаграмм ошибок.

При работе в коллективе важно контролировать согласованность понятий, используемых в комплексных диаграммах. Для анализа семантической составляющей диаграмматики в [5] предложен метод анализа и контроля семантических ошибок диаграмматических нотаций бизнес-процессов в составе комплексной диаграммы, созданной в процессе коллективного проектирования, на основе автоматных графических RV-грамматик, отличающийся использованием графовой модели отношений понятий семантической текстовой информации диаграмм и позволяющий расширить класс ошибок, диагностируемых в процессе проектирования САС, и, тем самым, сократить время проектирования.

Семантический контроль комплексных диаграмм позволяет контролировать ошибки, распределенные по различным диаграммам. При семантическом контроле создаваемое комплексное представление об АС становится согласованным и непротиворечивым.

Предлагаемый метод к анализу семантического наполнения диаграмматики бизнес-процессов позволяет диагностировать ошибки несогласованности понятий на ранних этапах разработки САС. Ранняя диагностика таких ошибок позволяет сократить время разработки за счет уменьшения итераций, связанных с их исправлением.

### **3. Язык IDEF**

Структурными особенностями диаграмм семейства IDEF являются: правильность использования связей блоков, означающих входы/выходы определенной функции, управление и механизмы реализации; корректное использование перекрестков в IDEF3, позволяющее избежать зависимостей, неоднозначностей и дедлоков.

С семантической точки зрения наиболее полезной является модельное представление онтологий на визуальном языке SL (Schematic Language), составляющем основу методологии IDEF 5.

Используются четыре типа схем.

1. Диаграмма классификации.
2. Композиционная схема, предназначенная для визуализации представления состава классов онтологии.
3. Схема взаимосвязей.
4. Диаграмма состояния объекта, позволяющая документировать процесс с точки зрения изменения состояния объекта.

Таким образом, стандарт IDEF 5 предоставляет собой структурированную методологию, с помощью которой разрабатывать и динамически поддерживать онтологическую модель системы. Алгоритмы сопоставления объектов этой модели и соответствующих связей с текстовой составляющей и учетом следования блоков диаграмм IDEF 0 и

IDEF 3 обеспечивают семантическую согласованность и целостность комплекса моделей методологии IDEF.

#### **4. Язык BPMN**

Основной целью создания языка BPMN (Business Process Model and Notation) является обеспечение доступной нотацией описания бизнес-процессов всех участников разработки автоматизированных систем: бизнес-аналитиков, создающих схемы процессов вместе с заказчиками, прикладных разработчиков, ответственных за внедрение технологий выполнения бизнес-процессов, руководителей и исполнителей, управляющих бизнес-процессами и отслеживающих их выполнение.

Диаграммы на BPMN могут быть транслированы в ряд исполняемых языков, например, WSBPEL – Web Services Business Process Execution Language. При создании BPMN были рассмотрены графические нотации и методики моделирования следующих формализмов: UML Activity Diagram, UML EDOC Business Processes, IDEF, ebXMLBPSS, Activity-Decision Flow (ADF) Diagram, RosettaNet, LOVeM и Event-ProcessChains (EPCs). Поэтому можно констатировать, что BPMN вообрал в себя лучшие функциональные, алгоритмические, объектные особенности перечисленных инструментов.

Новым в языке BPMN является наличие связей и блоков, имеющих временные метки. Контроль временных параметров этих артефактов является актуальной и важной теоретической и практической задачей, которая решается в рамках разработанной временной RV-грамматики [6].

#### **5. Язык SharePoint**

Визуальные артефакты, методика и инструментарий SharePoint ориентированы на описание и реализацию рабочих процессов – автоматизированное движение документов или элементов через последовательность действий и задач, связанных с бизнес-логистикой.

Рабочие процессы используются для постоянного управления общими бизнес-процессами предприятия, обеспечивая его возможностью включить бизнес-логику в документы. Бизнес-логика представляет собой набор инструкций, которые задают и контролируют действия с документами. Задача рабочих процессов заключается в уменьшении затрат и времени на координирование бизнес-процессов. Основными рабочими процессами являются: утверждение проекта, проверка документа, управление и отслеживание задач сотрудника.

С точки зрения визуализации рабочих процессов графическими средствами SharePoint основной отличительной особенностью является вложенность процессов, определяющая, в том числе, их иерархическую структуру. Эффективным механизмом контроля такой вложенности

является стековый. Он и реализован в качестве внутренней памяти в RV-грамматике языка.

С точки зрения семантической согласованности рабочих процессов для анализа текстовой составляющей могут быть использованы авторские алгоритмы, применяющиеся для решения аналогичной задачи для UML.

## 6. Язык eEPC

Диаграммы, описанные в нотациях eEPC, представляют собой упорядоченную комбинацию событий и функций. Для каждой функции могут быть определены начальные и конечные события, участники, исполнители, материальные и документальные потоки, сопровождающие ее, а также проведена декомпозиция на более низкие уровни.

Синтаксическими и семантическими особенностями нотации eEPC являются:

- диаграмма EPC должна начинаться, как минимум, одним стартовым событием и завершаться, как минимум, одним конечным событием;
- каждая функция должна быть инициирована событием и должна завершаться событием;
- в каждую функцию может входить не более одной стрелки, «запускающей» выполнение функции и выходить не более одной стрелки, описывающей завершение выполнения функции;
- на диаграмме не должны присутствовать объекты без единой связи;
- каждый оператор слияния должен обладать хотя бы двумя входящими связями и только одной исходящей, оператор ветвления – только одной входящей связью и хотя бы двумя исходящими. Операторы не могут обладать одновременно несколькими входящими и исходящими связями;
- за одиночным событием не должны следовать операторы «OR (ИЛИ)» или «XOR (Исключающее ИЛИ)»;
- операторы могут объединять или разветвлять только функции или только события. Одновременное объединение/ветвление функции и события невозможно;
- оператор, разветвляющий ветки, и оператор, объединяющий эти ветки, должны совпадать;
- если примитиву распараллеливания предшествует функция (событие), то после примитива распараллеливания должно идти событие (функция).

## 7. Метод контроля семантической целостности диаграмматических моделей потоков работ

Контроль семантической целостности рассматриваемых моделей связан с диагностикой согласованности и непротиворечивости текстовой составляющей диаграмм. Для этих целей предлагается использовать онтологический подход. Онтологический анализ можно проводить в течении процесса анализа диаграммы или при полном построении онтологии по завершению анализа диаграммы.

В первом случае появляется возможность сразу указать на конкретный элемент, который привел к ошибке. Однако придется затрачивать больше времени, так как анализ онтологий должен проводиться на каждом элементе.

Во втором случае процесс объединения онтологий необходимо провести лишь один раз.

Далее будет рассмотрен второй вариант. Общая схема онтологического анализа диаграмм представлена на рис. 2 [7].

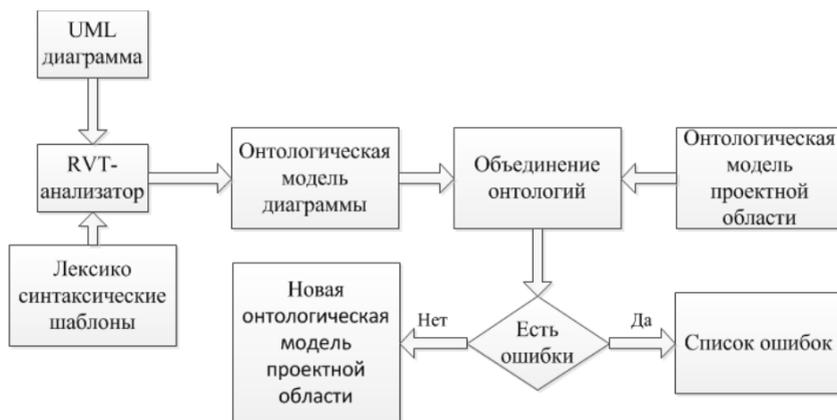


Рис. 2. Общая схема онтологического анализ диаграмм

Темпоральная RV-грамматика позволяет контролировать временные факторы, влияющие на выполнение потоков работ. Исходя из этого, применение данной грамматики возможно лишь для диаграмм, предполагающих описание процессов.

Для того, чтобы дополнительно контролировать семантическую целостность различных типов диаграмм, внесем изменения в правило RV-грамматики (определение автоматной RV-грамматики и ее пример для анализа языка BPMN приведены в [8]):

$$a(\chi, \zeta) \xrightarrow{W_v(\gamma_1, \dots, \gamma_n)} r_m$$

где  $\chi$  – процедура извлечения семантической информации, а  $\zeta$  – процедура извлечения временной информации.

Процедура  $\chi$  заключается в поиске соответствующего правила в списке. Правило состоит из двух частей – replacement и pattern. Часть pattern описывает лексико-синтаксический шаблон. Часть replacement определяет местоположение данной текстовой единицы в частичном семантическом дереве диаграммы.

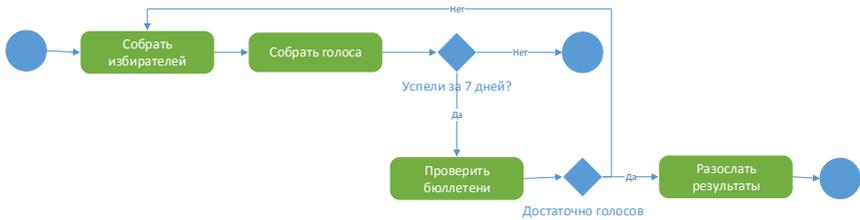


Рис. 3. Пример UML диаграммы активности

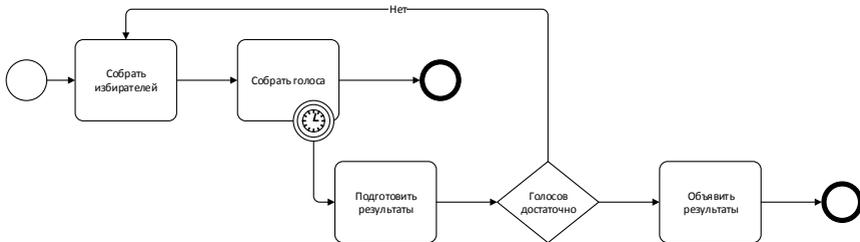


Рис. 4. Пример BPMN диаграммы

На рис. 3 и рис. 4 изображены упрощенные модели проведения выборов с помощью диаграммы активности UML и BPMN. Предполагается, что разработкой моделей занимались разные проектировщики, специализирующиеся на конкретном языке.

К указанным диаграммам применяются следующие шаблоны:

block{type: action} & block{value: name} == verb -> Action[value: name]

block{type: action} & block{value: name} == noun ->

Resource>Action[value: name]

В результате получаем схожие, но тем не менее различающиеся деревья онтологии (рис. 5 и рис. 6).



Рис. 5. Онтологическая модель, построенная по диаграмме активности UML

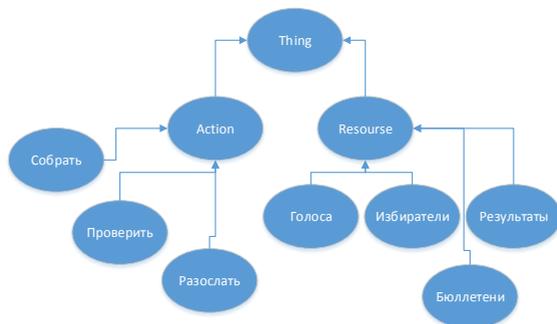


Рис. 6. Онтологическая модель, построенная по BPMN диаграмме

В данном случае, объединение произойдет успешно, так как явно выделяются опорные элементы. Однако видно, что каждая модель содержит уникальные понятия, и при дальнейшем анализе будет выявлена ошибка.

Диаграммы не согласованы между собой. Такой результат может быть получен вследствие использования диаграммы из другого проекта, из-за неправильно составленной диаграммы или из-за отсутствия связующей диаграммы. В каждом из этих случаев разработчику выдается сообщение об ошибке, и вторая диаграмма помечается как ошибочная. Проектировщик может отказаться использовать вторую диаграмму или исправить ее, чтобы диаграммы стали семантически согласованными.

## Заключение

Рассмотрены семантические особенности диаграмматических моделей потоков работ, применяемых в практике проектирования и эксплуатации САС. Предложенный метод онтологического анализа диаграмм позволяет решить задачу контроля семантической целостности и непротиворечивости тестовой составляющей моделей.

## Список литературы

1. Фаулер М. Новые методологии программирования. <http://www.maxkir.com/sd/newmethRUS.html>
2. Август-Вильгельм Шпер Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы. - 2000. - 182 с.
3. <http://www.standishgroup.com/outline>
4. <https://cyberpedia.su/5x389d.html>
5. Afanasyev A., Voit N., Gaynullin R. THE ANALYSIS OF DIAGRAMMATIC MODELS OF WORKFLOWS IN DESIGN OF THE COMPLEX AUTOMATED SYSTEMS // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2016. Т. 450. С. 227-236.
6. A. N. Afanasyev, N. N. Voit and S. Y. Kirillov. Development of RYT-grammar for analysis and control dynamic workflows // International Conference on Computing Networking and Informatics (ICCNI), Lagos, Nigeria, 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICCNI.2017.8123797
7. Афанасьев А.Н., Гайнуллин Р.Ф., Афанасьева Т.В. Семантический анализ диаграмматических моделей в проектировании сложных автоматизированных систем // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2015. № 5. С. 385-388.
8. Афанасьев А.Н., Кириллов С.Ю., Бригаднов С.И. Разработка RV-грамматики для диаграммного языка BPMN // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования. Сборник научных трудов VII Всероссийской школы-семинара аспирантов, студентов и молодых ученых (ИМАП-2015). 2015. С. 68-75.