

**РАЗВИТИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ АСПЕКТОВ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ОРИГИНАЛЬНОГО
СИСТЕМНОГО ПОДХОДА "УЗЕЛ-ФУНКЦИЯ-ОБЪЕКТ"**

matorin@bsu.edu.ru

**Маторин С.И., д-р техн. наук,
Жихарев А.Г., канд. техн. наук,
Кондратенко А.А., аспирант
*ЗАО «СофтКоннект»***

Аннотация. В статье рассматриваются результаты выполнения второго этапа проекта, посвященного совершенствованию средств концептуального и формального описания знаний для управления технологическими процессами. Авторами проекта разработан формальный алгебраический аппарат для описания знаний о технологических процессах, представляющий собой исчисление функций УФО-элементов (по аналогии с исчислением процессов Милнера), которое может рассматриваться как алгебра процессного подхода. Продолжена начатая на предыдущем этапе проекта разработка метода создания онтологии на основе системно-объектной модели знаний в терминах «Узел-Функция-Объект» (УФО-модели), в результате чего разработана классификация фактов, которые могут быть извлечены из УФО-модели, и для каждой группы фактов приведено подробное формальное обоснование, позволяющее формализовать извлечение соответствующих фактов и осуществить их дальнейшее преобразования в целях представления на языке RDF. Разработан алгоритм механизма вывода на моделях системно-объектных онтологических знаний, обоснована возможность решения задач логического вывода на результатах УФО-анализа предметных областей путем перехода от УФО-моделей к онтологиям. Сформулированы требования к инструментальному программному средству управления системно-объектными онтологическими знаниями о технологических процессах.

Ключевые слова: подход «Узел-Функция-Объект», системно-объектный метод представления знаний, исчисление функций, исчисление процессов, алгебра процессного подхода, онтология, управление технологическими процессами.

В качестве интеллектуальной информационной технологии управления технологическими процессами рассматривается технология управления знаниями о производственно-технологических процессах. При этом авторы развивают последнюю в трех направлениях. Во-первых, исследуются и развиваются возможности графоаналитических средств процессного подхода (DFD, IDEF и т.п.), рассматриваемых, в настоящее время, специалистами как один из возможных способов представления знаний об организационно-деловых и производственно-технологических процессах. Во-вторых, исследуются и расширяются возможности универсального способа представления знаний любой природы в виде онтологий. В-третьих, исследуются проблемы и совершенствуются возможности имитационного моделирования, в том числе, технологических процессов. При этом основой исследований по все трем направлениям является системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект» [<http://ru.wikipedia.org/wiki/Узел-Функция-Объект>].

1. В результате исследований по первому направлению определены и описаны алгебраические операции на функциях элементов «Узел-Функция-Объект» (УФО-элементов) по аналогии с операциями на процессах в исчислении процессов Милнера (*Calculus of communication systems* - CCS), а именно:

- префиксное действие,
- постфиксное действие,
- альтернативная композиция по входу,
- альтернативная композиция по выходу,
- параллельная композиция.

Сформулированные операции на функциях УФО-элементов задают алгебру или **исчисление функций**, которое может быть использовано для алгебраического описания процессов, в том числе технологических, в рамках любой графической нотации, соответствующей процессному подходу.

Рассмотрены и обоснованы некоторые полезные для формализации визуальных моделей технологических процессов свойства упомянутых операций. На основе предложенного исчисления функций разработан способ трансформации системно-объектных графоаналитических (визуальных) моделей в терминах «Узел-Функция-Объект» (УФО-моделей) производственно-технологических процессов в алгебраическое описание, который включает следующие шаги:

1). Анализ диаграммы и выявление элементов с линейным порядком соединения. Описание соединения этих элементов с помощью

операций «Префиксное действие» и «Постфиксное действие». Формирование процессов верхнего яруса.

2). Анализ диаграммы с учетом процессов верхнего яруса (без элементов с линейным порядком соединения) и выявление элементов с порядком соединения типа «дерево». Описание элементов с помощью операций «Альтернативная композиция по входу» и «Альтернативная композиция по выходу».

3). Анализ диаграммы, выявление параллельных потоков работ. Описание параллельных потоков с помощью операции «Параллельная композиция».

Применение операций исчисления функций позволяет формализовать процедуры декомпозиции и агрегации элементов (как с линейным порядком соединения, так и с порядком соединения «дерево») графоаналитических (визуальных) моделей.

Кроме того, предложены методика и алгоритм минимизации графоаналитических УФО-моделей процессов путем анализа их алгебраического описания. Методика минимизации сводится к удалению из модели перечисленных ниже элементов:

1). Процессов, у которых входные и выходные потоки одинаковы.

2). Процессов, у которых нет выходов и которые могут встречаться в моделях анализа организационно-деловых процессов «как есть».

3). Альтернативных или параллельных потоков, которые не участвуют в формировании выходного потока, зафиксированного на уровне контекстной модели.

Далее разработаны методика и алгоритм трансформации графического и формализованного описания УФО-диаграмм процессов, в том числе технологических, в выражения на языке исполнения бизнес-процессов (XPDL). XPDL (*XML Process Definition Language*) – это язык, предназначенный для описания определений рабочих процессов и их реализаций. XPDL предложен в качестве стандарта для импорта/экспорта описаний бизнес-процессов. На его основе решается задача интеграции программных средств разных производителей. Разработчики графических средств для моделирования и реинжиниринга бизнес-процессов, в том числе производственно-технологических, встраивают в свои продукты возможность экспорта в формате XPDL, а разработчики BPM-систем – возможность импорта.

Подробные результаты представлены в полнотекстовом отчете по гранту РФФИ 14-47-08003 за 2015 год и в работе [1].

2. В ходе исследований по второму направлению разрабатывается метод создания онтологии на основе системно-объектной УФО-модели. Для этого проанализирован математический аппарат УФО-подхода и средства формального представления онтологий (язык RDF - *Resource Description Framework*), выявлена их взаимосвязь. Обозначены основные положения, являющиеся основой интеграции системно-объектного подхода и средств онтологического инжиниринга.

На основе выявленных взаимосвязей формальных аппаратов заложены основы алгоритма преобразования УФО-модели в онтологию. Для разработки указанного алгоритма сформулирована классификация фактов, извлекаемых из УФО-моделей в целях построения онтологии. Для каждой группы фактов, входящей в разработанную классификацию, приведено подробное формальное обоснование, позволяющее формализовать извлечение соответствующих фактов из УФО-моделей и осуществить их дальнейшее преобразование в целях представления на языке RDF.

В процессе разработки алгоритма механизма вывода на моделях системно-объектных онтологических знаний обоснована возможность решения задач логического вывода на результатах УФО-анализа предметных областей путем перехода от УФО-моделей к онтологиям. Кроме того, обоснованы его особенности и проанализированы возможности существующих решателей.

Определены основные задачи логического вывода на построенных на основе УФО-моделей онтологиях, которые могут быть полезными при решении прикладных задач. Такие задачи можно условно сгруппировать по типу данных, на основе которых они строятся. В зависимости от предметной области и цели извлечения знаний формулировка задач может варьироваться. Классификация типовых задач логического вывода на онтологиях, построенных на основе УФО-моделей в общем виде выглядит следующим образом:

1. Задачи на основе данных о связях.
 - 1.1. Построение классификации связей.
 - 1.2. Вывод перечня подклассов заданного класса связей.
 - 1.3. Получение полной информации о заданном классе связей.
2. Задачи на основе данных об узлах.
 - 2.1. Получение подробной информации о заданном узле.
 - 2.2. Определение функции, балансирующей заданный узел.
 - 2.3. Получение информации об объекте, занимающем данный узел.
 - 2.4. Вывод перечня портов (всех, входящих, исходящих) заданного узла.

- 2.5. Определение узлов, имеющих сходные порты с заданным.
- 2.6. Формирование перечня пустых/занятых портов заданного узла.
3. Задачи на основе данных о функциях.
 - 3.1. Вывод подробной информации о заданной функции.
 - 3.2. Построение списка узлов, балансируемых заданной функцией.
 - 3.3. Получение списка объектов, реализующих заданную функцию.
4. Задачи на основе данных об объектах.
 - 4.1. Отображение подробной информации о заданном объекте.
 - 4.2. Вывод списка узлов, занимаемых заданным объектом.
 - 4.3. Получение функций, реализуемых конкретным объектом.
5. Задачи на основе данных об УФО-элементах в целом.
 - 5.1. Формирование перечня входов и выходов заданной функции (на основе данных об узле, его портах и балансирующей его функции).
 - 5.2. Получение информации о связях между двумя заданными УФО-элементами (на основе информации об узлах, их портах и существующих в модели связях).
 - 5.3. Построение цепочек взаимодействия между заданными УФО-элементами (на основе данных об узлах, их портах, существующих в модели связях).

Ряд задач из приведенных в классификации может быть решен стандартными средствами, предоставляемыми наиболее распространенными инструментами логического вывода на онтологиях.

Показано, что на основе механизмов логического вывода и получения знаний из онтологий, созданных на базе УФО-моделей, могут быть построены интеллектуальные информационные системы, включающие в себя элементы экспертных систем и систем поддержки принятия решений.

В общем виде алгоритм вывода на моделях системно-объектных онтологических знаний может быть сформулирован следующим образом:

- Моделирование предметной области с использованием средств УФО-подхода (построение УФО-модели).
- Извлечение из УФО-модели фактов о предметной области.
- Представление полученных фактов на языке RDF (в нотации RDF/XML) или OWL.
- Построение файла онтологии на основе базиса, представленного выше (RDF-словаря и принципов его формирования).
- Получение входных параметров, описывающих задачу логического вывода.

- Выполнение поиска нужных фактов с помощью стандартных и модифицированных решателей с использованием фреймворка Apache Jena.

- Адаптация полученного результата для вывода на экран или в файл.

В процессе разработки требований к инструментальному программному средству управления системно-объектными онтологическими знаниями о технологических процессах показано, что при выборе существующего решателя для прикладных задач логического вывода на онтологиях необходимо учитывать следующие факторы:

- поддерживаемые алгоритмы;
- наличие поддержки решения задач логического вывода в области ABox (утверждения об индивидах);
- поддерживаемые дескрипционные логики;
- стоимость решения (бесплатное или коммерческое программное обеспечение);
- используемые и допустимые форматы данных;
- язык программирования, на котором реализован инструмент;
- возможности интеграции в собственное программное обеспечение.

В результате требования к инструментальному программному средству управления системно-объектными онтологическими знаниями в общем виде можно сформулировать следующим образом:

- Программный продукт должен позволять выбрать и загрузить исходный файл УФО-модели в формате *.xml.
- Система должна предоставлять возможность осуществить автоматический анализ исходного файла и выявление содержащихся в нем фактов о предметной области.
- Система должна позволять осуществлять автоматическое преобразование выявленных фактов из исходного файла в формате XML в конструкции на языке RDF с использованием нотации RDF/XML;
- Пользователь должен иметь возможность вывести на экран и/или сохранить в отдельном файле информацию о статистике выполненного преобразования.

Подробные результаты представлены в полнотекстовом отчете по гранту РФФИ 14-47-08003 за 2015 год и в работе [2].

3. В результате исследования проблем и совершенствования возможности имитационного моделирования технологических

процессов разработаны метод и алгоритм имитационного моделирования, использующие системно-объектный метод представления знаний (СОМПЗ), основанный на системно-объектном УФО-подходе.

СОМПЗ представляет собой результат формального описания УФО-элементов с помощью алгебраического аппарата *исчисления объектов* Абади-Кардели, разработанный для формализации объектно-ориентированного программирования. При этом УФО-элементу ставится в соответствие специальный класс объектов данного исчисления (**узловой объект**), который содержит специально выделенные поля и методы, как показано в приведенном ниже выражении.

Кроме того, самими связям/потокам ставится в соответствие другой специальный класс абстрактных объектов, который обладает только набором полей, содержащих основные характеристики объекта (**поточковый объект**).

Если для хранения и обработки знаний о каких-либо процессах представлять их в виде УФО-элементов, то, с учетом формального их описания средствами исчисления объектов, манипулирование этими знаниями, в частности имитацию динамики процессов, можно обеспечить путем организации цепочки вызовов методов узловых объектов со стороны соответствующих потоковых объектов. Цепочка организуется на уровне декомпозиции УФО-элемента. Вызов метода узлового объекта будет иметь место в том случае, если на вход узлового объекта поступает поток, наименование объектов которого (поточковых) совпадает со значением поля узлового объекта, которое содержит значение входных потоковых объектов. Старт процедуры имитационного моделирования осуществляется путем инициализации некоторого контекстного потокового объекта, после чего значение контекстного потокового объекта попадает в соответствующее поле интерфейсного узлового объекта, после чего вызывается метод этого узлового объекта, который выполнив некоторые действия, вызывает метод следующего узлового объекта и так пока не достигается конец модели.

Вызов метода узлового объекта осуществляется за счет «движка» модели, который использует скриптовый язык (**УФО-скрипт** - язык описания функциональных узлов синтаксически подобный языку программирования *Pascal*), включающий в свой состав следующие операторы:

- оператор создания переменной;

- оператор присваивания значения переменной;
- операторы условия и цикла (в классической форме организации);
- математические операторы сложения, вычитания, умножения и деления;
- логические операторы.

Таким образом, процедура системно-объектного имитационного моделирования при условии формализации УФО-подхода с помощью алгебраического аппарата исчисления объектов организовывается в соответствии с приведенным ниже рисунком. Как видно из рисунка, организация имитации функционирования системы, представляемой в виде УФО-элемента, имеет, как и сам УФО-элемент, три уровня представления. Первый уровень – визуальное представление системы (то, что видит пользователь на экране монитора). На данном уровне модель системы строится из отдельных узлов системы, связанных между собой некоторыми потоковыми объектами X, Y, Z, L. Второй уровень - описание функционирования системы с помощью операторов скриптового языка, причем здесь имеют место predetermined методы:

- `getLink(X.x1, X.x2,...,Y.y1, Y.y2,...)` – позволяет получить значения характеристик входных потоковых объектов;
- `setLink(Z.z1, Z.z2,...,L.l1, L.l2,...)` – позволяет задать значения характеристикам выходных потоковых объектов;
- `GetObjectParam(P1,P2,...)` – позволяет получить значения характеристик узлового объекта, что соответствует третьему уровню описания системы – объектный уровень.

Таким образом, существует возможность описать функцию системы либо с помощью дальнейшей декомпозиции ее на подсистемы более низкого уровня, либо, если необходимый уровень декомпозиции достигнут, с помощью конструкций скриптового языка. Фактически получаем имитационную модель системы, состоящую из отдельных исполняемых блоков программы.

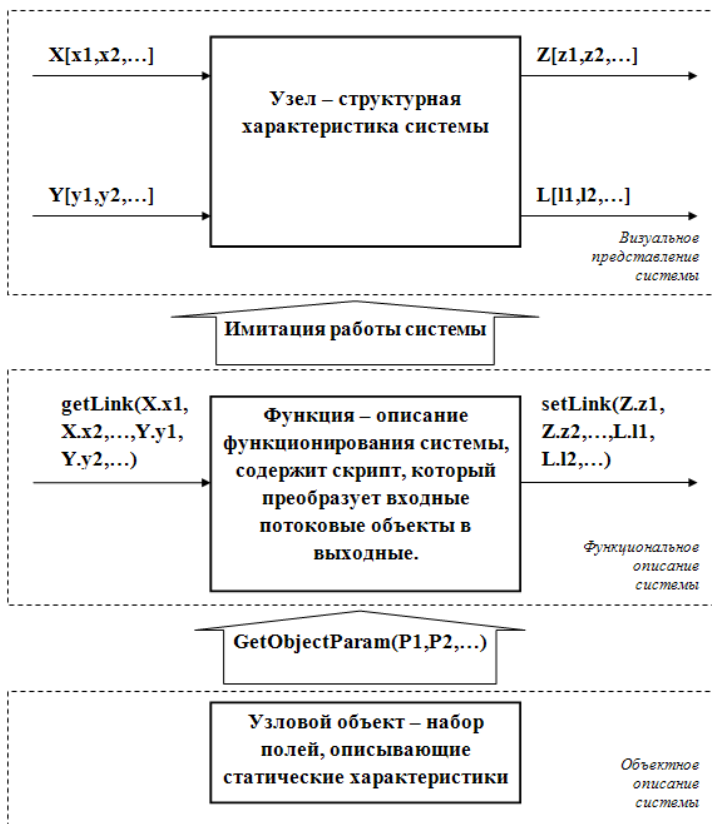


Рисунок – Структура имитации функционирования системы, представляемой с помощью UFO-элементов и исчисления объектов.

В ходе выполнения исследований разработан программный пакет «UFOModeler», реализующий предложенные метод и алгоритм. (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2015663240 от 14.12.2015).

Работоспособность метода и программного средства проверены путем моделирования ряда технологических процессов. Например, при моделировании технологической линии по производству пластиковой тары (на ООО «Стандарт Пластик Групп»). Эксперименты, проведенные с моделью, позволили выработать предложения по экономии электроэнергии за счет временного отключения гранулятора,

не снижающего производительность технологической линии, а также по повышению ее производительности за счет перераспределения мощностей печи и термоформовочной машины

Подробные результаты представлены в полнотекстовом отчете по гранту РФФИ 14-47-08003 за 2015 год, а также в работах [3 и 4].

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-47-08003 «р_офи_м».

Список литературы:

1. Маторин С.И., Зимовец О.А. Алгебраический аппарат процессного подхода для автоматизации исполнения деловых процедур // Труды 6-й Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии» САИТ-2015 (15-20 июня, г. Светлогорск, Россия). Т. 2. М. С. 85-91. (под эгидой РФФИ).
2. Слободюк А.А., Маторин С.И. О возможности извлечения фактов из УФО-моделей и представлении их с помощью RDF // Труды XVIII Российской научной конференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями» ИП&УЗ. 2015. (21-24 апреля, г. Москва, МЭСИ, Россия). Т.1. М. С.482-488. (под эгидой РФФИ).
3. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. Системно-объектный инструментарий для имитационного моделирования технологических процессов и транспортных потоков // Искусственный интеллект и принятие решений. 2015. №4. С. 95-103.
4. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зайцева Н.О. Имитационное моделирование с использованием системно-объектного подхода. // Прикладная информатика. 2015. №6(60). Выпуск 10. С. 91-104.