

УДК 005.8:615.478

# МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СВЯЗАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ В СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**М. М. Матюшин<sup>а</sup>**, начальник отдела сменных руководителей полета

**Т. Г. Вакурина<sup>а</sup>**, ведущий инженер отдела формирования и реализации программ эксплуатации ракетно-космических систем и управления проектами

**В. В. Котеля<sup>а</sup>**, начальник сектора сопровождения и развития информационной инфраструктуры управления полетами

**П. О. Скобелев<sup>б</sup>**, доктор техн. наук, генеральный директор

**О. И. Лахин<sup>б</sup>**, руководитель направления

**С. С. Кожевников<sup>б</sup>**, директор аналитического центра

**Е. В. Симонова<sup>б, в</sup>**, канд. техн. наук, доцент, ведущий аналитик

**А. И. Носкова<sup>б</sup>**, аналитик

<sup>а</sup>ОАО Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С. П. Королева, Королев, РФ

<sup>б</sup>ООО «Научно-производственная компания «Разумные решения», Самара, РФ

<sup>в</sup>ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (национальный исследовательский университет)», Самара, РФ

**Постановка проблемы:** разнородные знания в интеллектуальных системах поддержки принятия решений слабо формализуемы, что затрудняет использование автоматизированных систем для оперативного управления сложными объектами и процессами. Целью работы является разработка методов и программных средств онтологического представления знаний в сложных информационно-аналитических системах. **Методы:** рассмотрен подход к описанию сложных предметных областей на основе метаонтологии «модель Аристотеля». **Результаты:** разработаны и описаны алгоритмические и программные решения, позволяющие создавать онтологии деятельности на основе данного подхода, а также средства визуализации и хранения знаний в предметных онтологиях. Создана онтология систем и элементов Международной космической станции для решения задач управления ее ресурсами, а также онтология для поддержки принятия решений при использовании бортовых ресурсов станции в процессе парирования аварийных ситуаций «Разгерметизация» и «Пожар». Выделены три уровня описания предметной области: «онтология» — «модель» — «сцена» для повышения эффективности обработки связанных информационных объектов произвольной природы в сложных информационно-аналитических системах. Для редактирования, визуализации и навигации по онтологиям, моделям и сценам разработан конструктор онтологий, позволяющий извлекать исходные информационные объекты и их связи из информационно-аналитических систем; визуально представлять качественные и количественные характеристики информационных объектов на двумерной поверхности; выделять подмножества информационных объектов и их связей из общего множества извлеченных объектов по определенным характеристикам и критериям; выполнять свертку подмножеств информационных объектов и их связей в единый гиперобъект по определенным характеристикам и критериям. **Практическая значимость:** модель знаний и алгоритмические решения обеспечивают индивидуальную онтологическую настройку разработанных инструментальных средств на конкретную сферу деятельности и используются для ситуационного управления в интеллектуальных системах поддержки принятия решений в аэрокосмических приложениях.

**Ключевые слова** — методы визуализации, онтология, метаонтология Аристотеля, «модель Аристотеля», конструктор онтологий, онтология Международной космической станции.

## Введение

Современные автоматизированные системы управления стремительно усложняются, что вызвано растущими требованиями бизнеса, высокой неопределенностью и динамикой изменения спроса/предложения в новой глобальной экономике знаний. Одним из подходов к решению данной проблемы является создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений в реальном времени.

В этой связи в настоящее время резко возросла потребность в представлении, визуализации, формализации, интеграции, хранении и повторном использовании больших объемов знаний

и данных в различных областях деятельности. Основная проблема заключается в том, что не все знания можно легко описать и запрограммировать, так как они обычно являются разнородными, многосвязными, неполными, могут содержать некорректную информацию, быть как декларативными, так и процедурными, связанными не только иерархическими, но и сетевыми структурами, и т. д. Поэтому важнейшие и специфические знания для принятия решений во многом остаются неформализованными, что затрудняет использование автоматизированных систем для управления сложными объектами и процессами. Характерный пример этого — Международная космическая станция (МКС).

Другой трудностью является жесткое кодирование данных в тексте программы, изменение которых ведет к перепрограммированию всей системы. Поэтому необходимо разрабатывать варианты представления знаний, менее зависящие от кода и позволяющие пользователям описывать предметные области в более понятном им виде.

Современные интеллектуальные системы используют в качестве источников информации базы знаний вместо баз данных. Основными преимуществами использования баз знаний являются:

- возможность хранить сложные разнородные сведения;
- возможность расширять и дополнять описание предметной области без перепрограммирования;
- наглядность и доступность представления знаний пользователю.

В статье рассматриваются методы и средства построения онтологий для визуализации связанных информационных объектов произвольной природы в сложных информационно-аналитических системах, которые позволяют описывать знания о предметной области, строить концептуальные модели деятельности предприятий, а также формировать модели ситуаций (сцены), используемые для ситуационного управления в интеллектуальных системах поддержки принятия решений нового класса на основе мульти-агентных технологий, базирующихся на принципах самоорганизации и эволюции.

В качестве примера рассматривается модель знаний МКС, разрабатываемая для ряда конкретных практических приложений.

### Онтологический подход к представлению знаний в сложных информационно-аналитических системах

На данный момент для представления знаний в сложных информационных системах широко используется ряд методов: семантические сети [1], фреймы [2], формальные логические модели [3], продукционные модели [4]. Каждый из этих методов обладает своими преимуществами и недостатками, а также ограничениями на описываемые знания, предметную область и системы, в которых он может использоваться.

Онтологический подход к визуализации и хранению знаний позволяет с помощью онтологий описать любую разнородную, сколь угодно сложную предметную область. С точки зрения разработки интеллектуальных систем, используя этот подход, можно формализовать специфические предметные знания в виде, допускающем компьютерную обработку, и отделить знания от программного кода системы. Возможность для пользователей онтологии добавлять и изменять

объекты, атрибуты и классы по мере уточнения целей и задач делает этот метод оптимальным в практическом использовании.

Применительно к интеллектуальным системам под онтологией понимаются знания, формально представленные на базе концептуализации. Концептуализация предполагает описание множества объектов и понятий, знаний о них и связей между ними [5]. Таким образом, онтологии на базовом уровне должны, прежде всего, обеспечивать словарь понятий (терминов, концептов) для представления и обмена знаниями о предметной области, а также множество связей (отношений), установленных между понятиями в этом словаре.

Для формализации знаний в онтологии необходимо выбрать базис, в котором будут описываться концепты. В зависимости от описываемой предметной области, а также от интеллектуальной системы, использующей конкретную онтологию, базис (метаонтология) может содержать различный набор компонент. Например, при построении онтологий для поддержки принятия решений используется набор «классы» — «отношения» — «функции» — «аксиомы» — «экземпляры» или набор «объекты» — «отношения» — «роли» — «атрибуты». Еще одним примером онтологического базиса может служить формальная онтология свойств, в которой свойство рассматривается как центральная сущность.

В развитие идеи универсального базиса нами предложена метаонтология, позволяющая наиболее подробно описывать сложные предметные области — так называемая «модель Аристотеля», основными концептами которой являются «объект», «свойство», «процесс», «отношение» и «атрибут» [6].

Главным отличием этой метаонтологии является ориентация на создание моделей предметных областей в виде «моделей миров» — самозавершенных, взаимосвязанных и взаимообусловленных систем знаний, способных «работать» и «выполняться» для моделирования ситуаций, что особенно важно в целях дальнейшего создания «моделей деятельности» людей (специалистов, управленцев и т. д.), имеющих дело с исполнимыми или интерпретируемыми знаниями.

Согласно этой модели:

- существуют объекты, которые обладают свойствами и характеризуются состояниями;
- свойства выражают способность объектов вступать в процессы взаимодействия на основе законов мира;
- отношения между объектами могут отражать структурные, функциональные, временные или любые другие виды связей;
- чтобы выполнить действие над объектом, необходимо соблюдать определенные условия, которые задаются свойствами и отношениями;

— действия (процессы) изменяют состояния объектов, их свойства и отношения;

— свойства, отношения и действия характеризуются значениями атрибутов;

— атрибуты объекта/отношения являются качественной или количественной характеристикой понятия;

— правила являются обобщенными понятиями для формализованных условий вида «если-то» (предикатов) и высказываний (утверждений, аксиом, фактов).

Примеры классов понятий и отношений в модели знаний МКС:

— классы понятий: «Модуль», «Отсек», «Люк», «Средство наддува», «Экипаж»;

— свойства: Отсек «имеет» Объем, Объект «имеет» Горючесть;

— отношения: Средство наддува «находится в» Отсеке, Экипаж «использует» Средство наддува, Модуль «стыкуется» с Модулем;

— атрибуты полета: «Текущее давление», «Темп падения давления», «Резервное время», «Текущая масса»;

— процессы: «Падение давления» в Отсеке, «Перемещение» Космонавта, «Пожар» в Отсеке.

В создаваемых моделях «все связано со всем» и любой объект может запускать связанные с ним процессы (в том числе, приводящие к авариям). На этой основе одновременно развиваются процессы моделирования возникающей аварийной ситуации, которые могут быть легко визуализированы, использованы для прогнозирования ее развития и т. д.

Конечной целью создания и использования онтологий является обеспечение поддержки деятельности по накоплению, разделению и повторному использованию знаний. Исходя из этой цели, введем критерии, которым должна отвечать онтология [6]:

— прозрачность — подразумеваемое значение определенного термина должно передаваться доступно и однозначно, исключая двойные толкования;

— связность — онтология должна позволять делать выводы, которые согласуются с исходными определениями понятий, не вызывая противоречий;

— расширяемость — онтология должна позволять пополнять базу знаний, не затрагивая уже имеющуюся в ней информацию;

— независимость от синтаксиса — концептуализация должна быть специфицирована на уровне знания максимально независимо от представления понятий на уровне символов;

— минимальный базис при высокой выразительности — онтология должна иметь минимальный базовый набор понятий, но их должно быть достаточно, чтобы описывать сложные разнородные предметные области;

— удобство для пользователя — онтология должна позволять выражать знания в привыч-

ном для пользователя виде, быть понятной, обзорной и связанной;

— эффективность машинной обработки — онтология должна быть приведена к виду, допускающему эффективную компьютерную обработку.

С помощью современных инструментов инженерии онтологий можно строить онтологии, отвечающие всем этим критериям. Наиболее популярными инструментами являются Protégé, OntoEdit, OilEd, WebOnto [7]. Инструменты инженерии онтологий выполняют поддержку документирования онтологий, импорт и экспорт онтологий разных форматов и языков, графическое редактирование, управление библиотеками онтологий и т. д.

Однако ни один из существующих программных инструментов для работы с онтологиями не использует «модель мира», позволяющую строить и исполнять различные конкретные миры, в частности, метаонтологию «модель Аристотеля». Данная модель является наиболее адекватной для описания сложных разнородных знаний, поэтому был разработан подход к построению онтологий предметных областей на основе модели мира Аристотеля, новый инструмент, реализующий данный подход и позволяющий создавать онтологии деятельности, используя основные концепты «модели Аристотеля», а также методы и алгоритмы визуализации данных, упрощающие работу и восприятие создаваемой онтологии.

### Разработка методов и программных средств управления онтологиями в интеллектуальных системах

Онтология представляет собой описание мира на основе набора базовых концептов (понятий) и связей между ними. Структура предметной онтологии отображается в виде семантической сети, вершинами которой являются базовые понятия, а стрелки выражают отношения (связи) между ними.

Для создания предметных онтологий (миров) и управления семантической сетью разработан конструктор онтологий, моделей и сцен (КО), представляющий собой набор инструментов, которые позволяют пользователю построить модель предметной области, описать некоторую исходную ситуацию, задав начальную сцену. В дальнейшем КО должен позволять создавать вручную или автоматически сценарии действий/рассуждений и исполнять их по шагам или в реальном времени для получения результата.

#### Конструирование онтологий

Для удобства использования в КО выделяются три уровня описания предметной области: «онтология», «модель», «ситуация (сцена)».

Онтология описывает понятия и отношения (подобно толковому словарю), необходимые для описания знаний в любой предметной области (аэрокосмические организации, биотехнологии, медицина, наносистемы, живые системы и т. д.); на основе онтологии в дальнейшем строится модель деятельности.

Модель описывает устойчивые конфигурации объектов, упрощающие создание формализованных описаний сцен в конкретных ситуациях (например, не следует каждый раз описывать конфигурацию МКС, достаточно сохранять эти сведения в модели для дальнейшего использования).

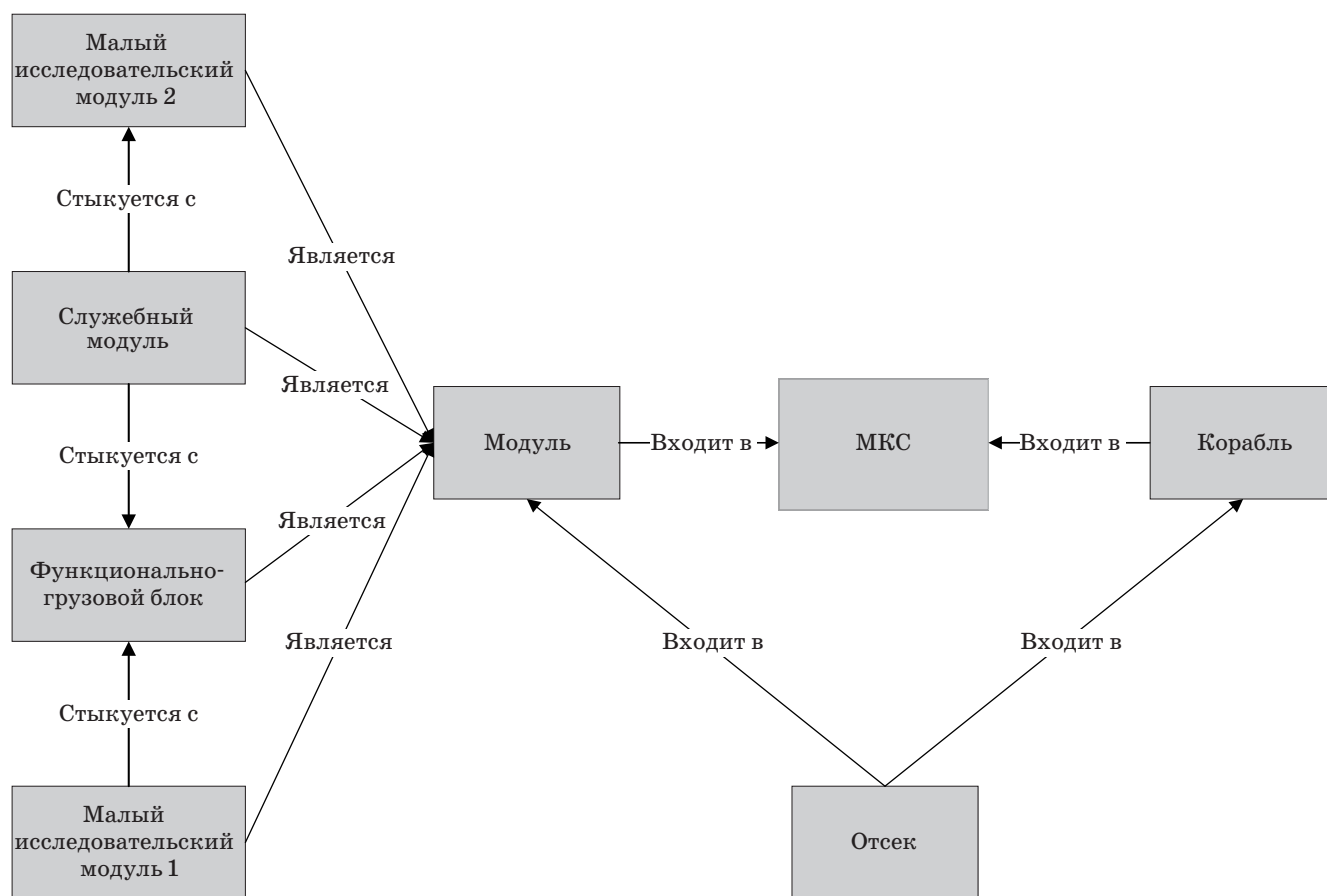
Ситуация (сцена) описывает экземпляры понятий и отношений в заданный момент времени (набор фактов); сцена подобна мгновенной «фотографии» ситуации в заданный момент времени.

Так, в мире МКС можно описать все возможные конфигурации МКС с состояниями объектов (оборудование, физическую структуру, системы и т. д.). В онтологию вносятся базовые концепты, описывающие предметную область (без конкретики), например: объекты — «Корабль», «Люк», «Отсек», «Космонавт», «Груз»; отношения — «Стыкуется с», «Входит в»; свойства — «Может гореть», «Тушить пожар»; процессы — «Перемещение»,

«Тушение пожара» и т. д. Фрагмент онтологии МКС представлен на рис. 1, где в качестве объектов изображены МКС и ее основные составные части — модули. Объекты «Модуль», «Корабль», «Отсек» являются базовыми онтологическими концептами. Объекты, описывающие конкретные модули, которые входят в МКС, — это экземпляры объекта «Модуль», поэтому они связаны с «Модулем» отношением «Является». Все модули связаны с МКС логическим отношением «Входит в». Между собой модули связаны физическим отношением «Стыкуется с».

Таким образом, описание мира может быть построено не как «закрытая» программная модель, которую при каждом вносимом изменении необходимо перепрограммировать, а как открытая модель физических или абстрактных сущностей, позволяющая моделировать процессы их взаимодействия.

Для того чтобы расширить возможность описания предметных областей за счет включения в онтологию не только объектов, но и их качественных и количественных характеристик, в КО реализованы средства создания свойств объектов и добавления атрибутов для всех концептов. В данном случае свойства отвечают за качествен-



■ Рис. 1. Фрагмент онтологии МКС



ные характеристики, а атрибуты — за количественные. Наличие такой возможности увеличивает объем знаний, которые пользователь может описать с помощью онтологии, так как задание свойств объектов влечет за собой появление следующего уровня детализации онтологии, а именно создание и описание процессов, в которые могут вступать объекты.

Процессы неразрывно связаны со свойствами объекта, так как условием возникновения и протекания какого-либо процесса является наличие у объекта определенного свойства с определенными количественными характеристиками. Любой процесс состоит из последовательности действий, каждое из которых по определенному закону изменяет текущую ситуацию, а значит, изменяет качественные и количественные характеристики объектов, участвующих в данном процессе. Процесс — это не просто единичный концепт онтологии, но целое подмножество взаимосвязанных объектов и свойств, видоизменяющихся с течением времени. Основной отличительной особенностью «модели Аристотеля» является описание процессов с позиции взаимодействия объектов, обладающих определенными свойствами. Так как любая предметная область характеризуется конкретными процессами, их описание с присущими им условиями и особенностями позволяет пользователю яснее и прозрачнее представлять предметную область, а также отслеживать причинно-следственные связи, возникающие во время протекания различных процессов, что подтверждает актуальность использования в КО онтологии Аристотеля в качестве метаонтологии.

#### Визуализация качественных и количественных характеристик объектов и процессов на основе онтологии

Конструктор онтологий, моделей и сцен представляет собой систему визуального проектирования семантических сетей предметных онтологий, в которой пользователь может в удобной форме создавать и редактировать различные миры, специфицируя свои концепты и устанавливая связи между ними, а в дальнейшем формируя сценарии действий и «проигрывая» ситуации в этих мирах посредством исполняющей системы, реализующей законы мира.

Для упрощения восприятия пользователем онтологии в рамках создания КО были также разработаны и использованы методы и алгоритмы визуализации данных. В первую очередь, для облегчения визуального восприятия общей структуры занесенных в онтологию объектов пользователю предоставляется возможность изменять вариант отображения онтологий, моделей и сцен. Доступны следующие варианты:

- словарь, в котором собраны все концепты онтологии или модели (в виде гиперссылок);

- карточка концепта/модели, в которую заносятся данные для конкретного концепта онтологии или модели;

- структурированное текстовое описание, которое является наиболее привычным вариантом представления знаний для человека;

- семантическая сеть, имеющая вид ориентированного графа, вершины которого соответствуют объектам предметной области, а дуги (ребра) задают отношения между ними, и являющаяся основным вариантом представления знаний в КО.

Рассмотрим алгоритм визуализации качественных и количественных характеристик объекта, а также протекания процесса на примере ситуации «Возникновение пожара на МКС» через свойство объекта «Может гореть» [8]:

- для объектов МКС вводится свойство «Может гореть», которому задаются атрибуты («Температура загорания», «Теплоемкость» и др.);

- свойство «Может гореть» связывается с процессом «Пожар», в котором пересчитывается температура соседних объектов;

- при возникновении пожара автоматически запускается процесс «Пожар», в котором агент пожара находит ближайшие объекты в модуле и проверяет их на наличие свойства «Может гореть». Если температура выше заданной (загорания), происходит возгорание этих объектов и создаются новые агенты горящих объектов, продолжительность сгорания которых обусловлена их теплоемкостью;

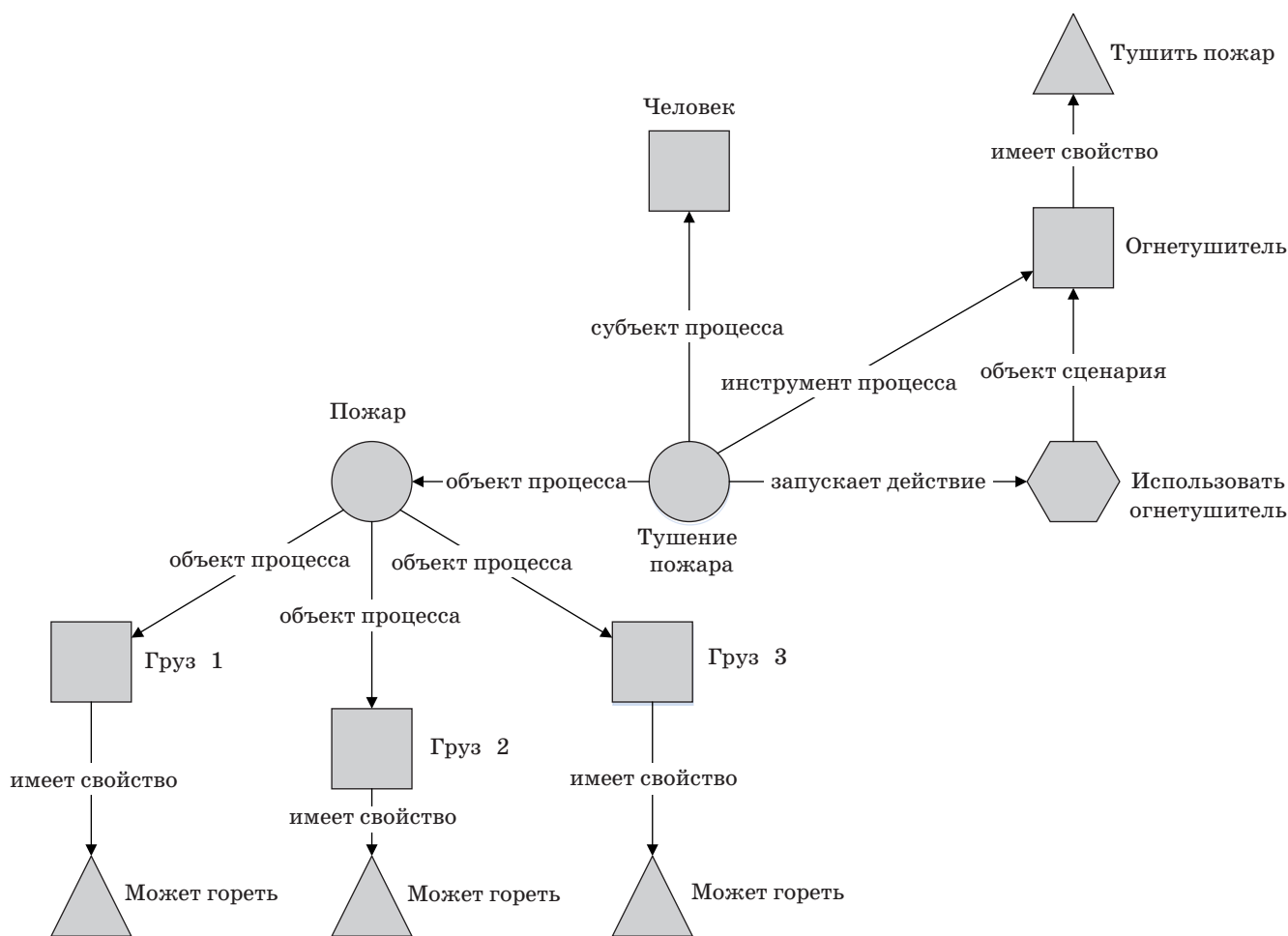
- объект «Огнетушитель» в режиме использования создает пенную массу, которая противостоит горению и останавливает горение при определенных параметрах;

- в случае отсутствия кислорода/горючих объектов или при использовании средств тушения пожар завершается;

- напротив, от горящих объектов возгораются другие — пожар рекурсивно (в зависимости от конфигурации станции) распространяется в заданном объеме, поднимая температуру, выжигая воздух и т. д.

Онтологическое описание ситуации «Возникновение пожара на МКС», представленное в виде семантической сети, дано на рис. 2.

С увеличением количества концептов и связей семантические сети становятся нечитаемыми и трудными для восприятия, поэтому возникла необходимость выделения подмножества объектов из общей сети онтологии. Пользователь может выделить и сгруппировать объекты из общего множества по любому необходимому ему критерию. Для разделения подмножеств выделенных объектов в разработанном КО пользователю предоставляется возможность создавать слои и выносить на них сгруппированные объекты, при этом создание послойной структуры повышает



■ **Рис. 2.** Онтологическое описание ситуации «Возникновение пожара на МКС», представленное в виде семантической сети

эффективность работы со сложными онтологиями, подобными онтологии МКС. На данный момент все объекты онтологии МКС разделены на следующие группы:

- физическая структура МКС;
- основные системы МКС;
- система обеспечения жизнедеятельности;
- система и средства газового состава;
- система энергосбережения;
- система управления движением и навигацией;
- объединенная двигательная установка;
- система пожаробнаружения и пожаротушения.

Таким образом, иерархия слоев МКС построена от общего к частному, от общей физической структуры станции к объектам систем и подсистем. Такое разделение облегчает навигацию по онтологии. Например, если пользователю необходимо работать только с определенной системой, ему необязательно открывать всю онтологию МКС и редактировать ее, достаточно просто перейти на слой нужной системы.

Если необходимо найти конкретный объект сети, в КО реализован поиск по объектам онтологии.

Другим вариантом выделения группы концептов из общей сети является получение подмножества связанных объектов любого уровня вложенности по определенным критериям, например, связанных одним и тем же отношением или обладающих одним и тем же свойством. Такой метод выделения подмножеств может быть удобен, например, при описании процессов. Зная свойство, запускающее процесс, пользователь может сразу выделить все объекты, которые должны участвовать в этом процессе. Назначив в качестве критерия отбора отношение, пользователь может выбрать объекты, составляющие определенную иерархию с ограниченным уровнем вложенности. КО предоставляет пользователю возможность выбрать в качестве критерия отбора отношение и радиус связей, чтобы вычленив из общего множества указанный объект и все объекты, связанные с ним выбранным отношением на заданном

значении радиуса. Например, выберем в онтологии Международной космической станции в качестве центрального объекта объект «МКС». Критерием отбора назначим отношение «Входит в» и зададим радиус связи, равный 2. Полученное в результате отбора подмножество представлено на рис. 3.

Предложенные методы визуализации онтологий в целом и их отдельных частей позволяют любому пользователю, даже не обладающему специальной квалификацией, создавать и редактировать предметные онтологии.

**Использование конструктора онтологий в интеллектуальных системах для аэрокосмических приложений**

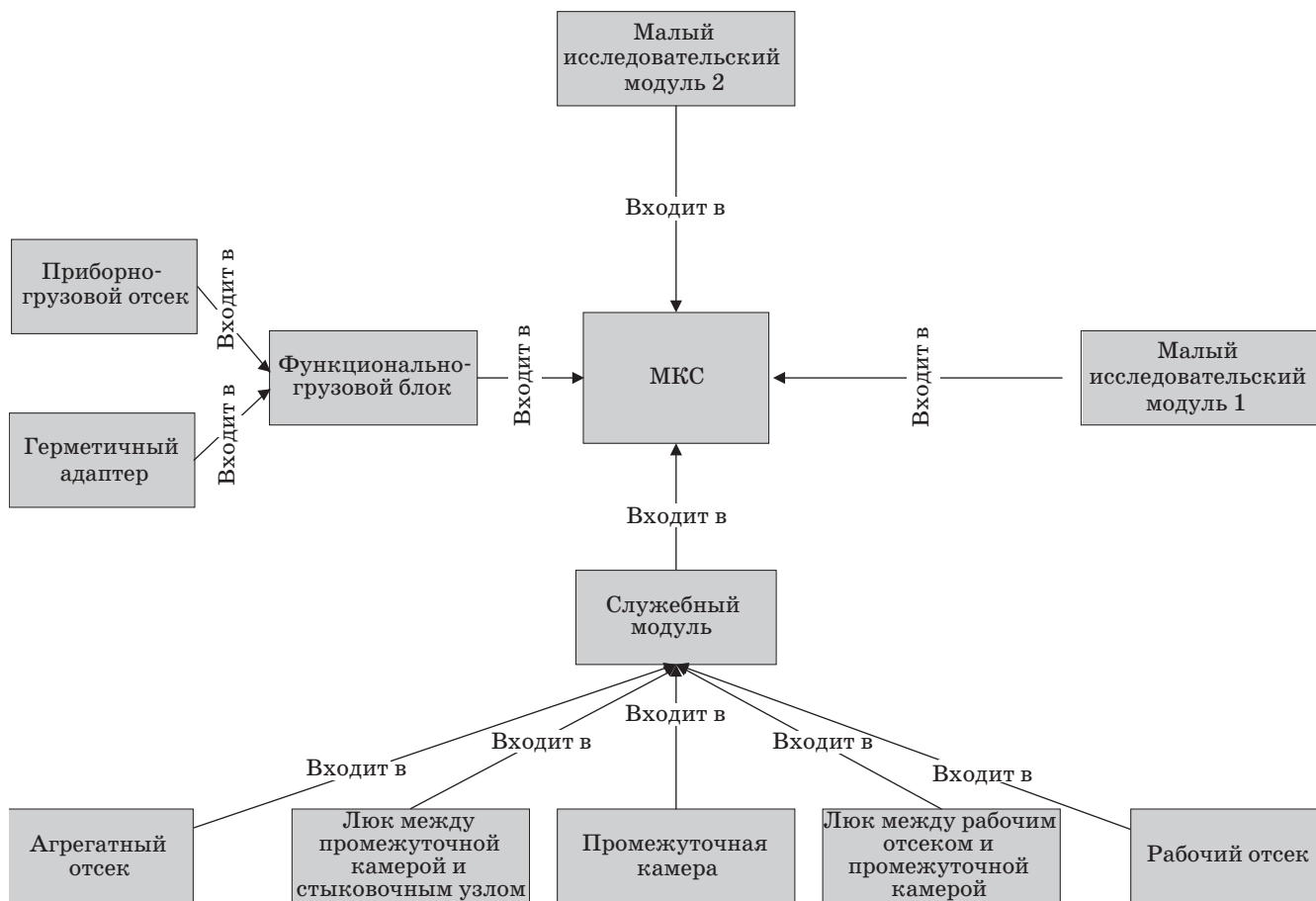
Различные уровни онтологии МКС, построенной с помощью КО, используются в «ОАО РКК «Энергия» в следующих интеллектуальных системах для аэрокосмических приложений:

- интеллектуальной системе поддержки принятия решений при парировании нештатных и аварийных ситуаций [8];
- автоматизированной системе поддержки принятия решений при организации работы опе-

ративной смены главной оперативной группы управления (ГОГУ);

— системе интерактивного построения программы полета, грузопотока и расчетов ресурсов МКС [9].

При этом в соответствующие уровни онтологии МКС вносятся знания, актуальные для каждой из этих систем. Например, система поддержки принятия решений в аварийных ситуациях использует онтологию, описывающую конфигурацию МКС, состав бортового оборудования и инструкции для экипажа по парированию аварийных ситуаций. Система поддержки принятия решений для смены ГОГУ оперирует такими понятиями, как смена, специалист, полетная операция, и планирует графики работ для членов ГОГУ, основываясь на онтологическом описании компетенций специалистов ГОГУ, их опыта и квалификации, видов выполняемых операций, смен и аксиом, по которым происходит взаимодействие между этими объектами. В системе построения программы полета, грузопотока и расчетов ресурсов МКС основными объектами являются ресурсы, корабли и полеты.



■ Рис. 3. Подмножество объектов, связанных отношением «Входит в» с радиусом связей, равным 2

## Заключение

Разработанный подход к построению онтологий на основе модели мира Аристотеля, конструктор онтологий, основанный на данной методологии, а также методы визуализации в КО, описанные на примере онтологии МКС, значительно упрощают работу специалистов инженерии знаний при описании разнородных предметных областей. Созданная на основе этих принципов предметная онтология (мир) может в полной мере использоваться в интеллектуальных системах в качестве базы знаний, обеспечивая индивидуальную онтологическую настройку системы на конкретную сферу деятельности.

Однако до сих пор существуют трудности внедрения онтологического подхода к хранению

и визуализации знаний из-за отсутствия общего стандарта на описание и представление онтологий. В связи с этим планируются дальнейшие работы по дополнению и усовершенствованию КО в целях расширения предоставляемых возможностей и еще большего упрощения работы пользователя. Основной целью развития методов и алгоритмов построения и визуализации онтологий является достижение высокой степени автоматизации при добавлении и редактировании концептов, а также при задании правил и условий взаимодействия между ними.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, государственный контракт № ГК 14.514.11.4100.

## Литература

1. **Wojtinek Pia-Ramona, Pulman Stephen.** Building semantic networks from plan text//International J. of Semantic Computing. 2012. Vol. 06. N 01. DOI:10.1142/S1793351X12400041.
2. **Karp Peter D., Myers Karen L., Gruber Tom.** The Generic Frame Protocol//Proc. 14th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Montréal Québec, Canada, Aug. 20–25, 1995. P. 768–774.
3. **Hansen Kaj Børge.** Formal Logic, Models, Reality. — Uppsala Philosophical Studies, 2011. [http://www.filosofi.uu.se/digitalAssets/110/110787\\_formal-logic-real.pdf](http://www.filosofi.uu.se/digitalAssets/110/110787_formal-logic-real.pdf) (дата обращения: 12.11.2013).
4. **Pasik Alexander J., Stolfo Salvatore J.** Improving Production System Performance on Parallel Architectures by Creating Constrained Copies of Rules. — Department of Computer Science, Columbia University, 1987. <http://academiccommons.columbia.edu/catalog/ac%3A142314> (дата обращения: 14.11.2013).
5. **Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф.** Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб.: Питер, 2000. — 383 с.
6. **Скобелев П. О.** Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятием в реальном времени // Онтология проектирования. 2012. № 1(3). С. 26–48.
7. **Овдей О. М., Проскудина Г. Ю.** Обзор инструментов инженерии онтологий // Электронные библиотеки. 2004. Т. 7. № 4. <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part4/op> (дата обращения: 15.11.2013).
8. **Матюшин М. М.** и др. Автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийных ситуациях // Программные продукты и системы. 2013. № 3. С. 62–69.
9. **Дязитдинова А. Р.** и др. Обеспечение согласованного взаимодействия по планированию грузопотока Международной космической станции с помощью мультиагентных технологий // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. 13-й Междунар. конф., Самара, 15–17 июня 2011 г. Самара, 2011. С. 435–442.

UDC 602-53.55

## Methods and Software for Creation of Ontologies for Visualizing Connected Information Objects of Random Nature in Complex Information-Analytical Systems

Matushin M. M.<sup>a</sup>, Head of Department, [matushin@scsc.ru](mailto:matushin@scsc.ru)

Vakurina T. G.<sup>a</sup>, Chief Engineer, [tvakurina@yandex.ru](mailto:tvakurina@yandex.ru)

Kotelya V. V.<sup>a</sup>, Head of Section, [vlad@scsc.ru](mailto:vlad@scsc.ru)

Skobelev P. O.<sup>b</sup>, Dr. Sc., Tech., Chief Executive Officer, [petr.skobelev@gmail.com](mailto:petr.skobelev@gmail.com)

Lakhin O. I.<sup>b</sup>, Project Manager, [lakhin@yandex.ru](mailto:lakhin@yandex.ru)

Kozhevnikov S. S.<sup>b</sup>, Head of Analytical Center, [koz@smartsolutions-123.ru](mailto:koz@smartsolutions-123.ru)

Simonova E. V.<sup>b, c</sup>, PhD, Associate Prof., Lead Analyst, [simonova@smartsolutions-123.ru](mailto:simonova@smartsolutions-123.ru)

Noskova A. I.<sup>b</sup>, Analyst, [noskova@smartsolutions-123.ru](mailto:noskova@smartsolutions-123.ru)

<sup>a</sup>PLC S. P. Korolev Rocket & Space Corporation Energia, 4A, Lenin St., 141070, Korolev, Moscow, Russian Federation

<sup>b</sup>Software Engineering Company «Smart Solutions», 17, Moskovskoe St., 443013, Samara, Russian Federation

<sup>c</sup>Samara State Aerospace University, 34, Moskovskoe St., 443086, Samara, Russian Federation



**Purpose:** Diverse sets of knowledge on intelligent decision making support systems are poorly formalized that complicates the use of automated systems for operative management of complex objects and processes. The purpose of the present paper is to develop methods and software for ontological representation of knowledge in complex information-analytical systems. **Methods:** There has been considered an approach for describing complex subject fields based on the meta-ontology "The Model of Aristotle". **Results:** There have been developed and described algorithmic and software solutions allowing to create ontologies of activities based on the given approach as well as visualization and storage of knowledge in subject domain ontologies. There has been created a system and element ontology of the ISS for decision making support during confrontation of the emergencies of "Leakage" and "Fire". There have been sorted three levels of the subject area "Ontology" – "Model" – "Scene" to enhance efficiency of processing connected information objects of random nature in complex information-analytical systems. There has been developed a constructor of ontologies to edit, visualize and navigate in ontologies, models and scenes allowing to extract the original data objects and their relations to information-analytical systems; to represent visually quantitative and qualitative characteristics of information objects on a two-dimensional surface; to fold subsets of data objects and their relations to a common set of extracted objects according to certain criteria and characteristics; to perform convolution of subsets of information objects and their relations in a single hyper object according to certain characteristics and criteria. **Practical relevance:** The knowledge model and algorithmic solutions provide individual ontological configuration tools developed for a specific activity and they are used for situational management in intelligent decision making support systems in aerospace applications.

**Keywords** — Visualization Methods, Ontology, Meta-Ontology of Aristotle, Model of Aristotle, Constructor of Ontologies, International Space Station Ontology.

### References

1. Wojtinnik Pia-Ramona, Pulman Stephen. Building Semantic Networks from Plan Text. *International Journal of Semantic Computing*, 2012, vol. 06, no. 01. DOI:10.1142/S1793351X12400041.
2. Karp Peter D., Myers Karen L., Gruber Tom. The Generic Frame Protocol. *Proc. 14th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence*, Montréal Québec, Canada, August 20–25, 1995, pp. 768–774.
3. Hansen Kaj Börge. Formal Logic, Models, Reality. *Uppsala Philosophical Studies*, 2011. Available at: [http://www.filosofi.uu.se/digitalAssets/110/110787\\_formal-logic-real.pdf](http://www.filosofi.uu.se/digitalAssets/110/110787_formal-logic-real.pdf) (accessed 12 November 2013).
4. Pasik Alexander J., Stolfo Salvatore J. *Improving Production System Performance on Parallel Architectures by Creating Constrained Copies of Rules*. Department of Computer Science, Columbia University, 1987. Available at: <http://academiccommons.columbia.edu/catalog/ac%3A142314> (accessed 14 November 2013).
5. Gavrilova T. A., Horoshevskij V. F. *Bazy znanii intellektual'nykh sistem* [Knowledge Base of Intelligent Systems]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2000. 383 p. (In Russian).
6. Skobelev P. O. Ontology of Actions for Situation-Driven Real Time Management of Enterprises. *Ontologiya proektirovaniia*, 2012, no. 1(3), pp. 26–48 (In Russian).
7. Ovdej O. M., Proskudina G. Ju. A Survey of Ontology Engineering Tools. *Elektronnye biblioteki*, 2004, vol. 7, no. 4. Available at: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part4/op> (accessed 15 November 2013) (In Russian).
8. Matjushin M. M., Potockij S. I., Skobelev P. O., Potapov V. I., Lakhin O. I. Automated System of Decision Making Support in Emergencies. *Programmnye produkty i sistemy*, 2013, no. 3, pp. 62–69 (In Russian).
9. Dijazitdinova A. R., Ivashhenko A. V., Litvinov I. I., Novikov A. L., Skobelev P. O., Sycheva M. V., Hamic I. I. Ensuring a Coherent Interaction of Traffic Planning the International Space Station Using Multi-Agent Technologies. *Trudy 13 Mezhdunarodnoi konferentsii "Problemy upravleniia i modelirovaniia v slozhnykh sistemakh"* [Proc. 13th Int. Conf. "Complex Systems: Control and Modelling Problems"]. Samara, 2011, pp. 435–442 (In Russian).

### УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Национальная электронная библиотека (НЭБ) продолжает работу по реализации проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющихся в базе данных НЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.