

**Ю.А.Воробьев, Н.В.Нечипорук, В.Н.Кобрин, И.В.Шостак**  
**Национальный аэрокосмический университет им. М.С.Жуковского "ХАИ"**  
**МОДЕЛИ ОНТОЛОГИЙ И ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ**  
**ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ РУЧНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ**

*В статье проанализированы проблемы создания производственной системы поддержки принятия решений, с онтологической компонентой в качестве интеллектуального ядра, для решения задач, связанных с обоснованием выбора импульсного оборудования при технологической подготовке сборочного производства. Изложен подход к синтезу интеллектуального ядра в форме онтологической системы как совокупности трех предметных онтологий. В основу подхода положена методология METHONTOLOGY.*

**Ключевые слова:** машиностроительное производство, ручные импульсные устройства, система поддержки принятия решений, интеллектуальное ядро, онтология, онтологическая система

*Форм. 3. Рис. 1. Лит. 12.*

**Ю.А.Воробйов, М.В.Нечипорук, В.М.Кобрин, І.В.Шостак**  
**МОДЕЛІ ОНТОЛОГІЙ І ОНТОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ**  
**ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИБОРУ РУЧНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПРИБОРІВ**

*У статті проаналізовано проблеми створення виробничої системи підтримки прийняття рішень, з онтологічної компонентою в якості інтелектуального ядра, для вирішення завдань, пов'язаних з обґрунтуванням вибору імпульсного обладнання при технологічній підготовці складального виробництва. Викладено підхід до синтезу інтелектуального ядра у формі онтологічної системи як сукупності трьох предметних онтологій. В основу підходу покладено методологію METHONTOLOGY.*

**Ключові слова:** машинобудівне виробництво, ручні імпульсні пристрої, система підтримки прийняття рішень, інтелектуальне ядро, онтологія, онтологічна система

**Yu.Vorobyov, N.Nechyporuk, V.Kobrin, I.Shostak**  
**ONTOLOGIES AND ONTOLOGICAL MODEL OF DECISION SUPPORT SYSTEM**  
**FOR SELECTION OF MANUAL PULSE DEVICE**

*The paper analyzes the problem of creating a production decision support system, with the ontological component as an intelligent kernel for solving problems related to the rationale for the selection of equipment with pulsed technological preparation of production assembly. An approach to the synthesis of intellectual core in the form of ontological system as a set of three ontology. The basis of the approach is the methodology METHONTOLOGY.*

**Keywords:** engineering production, hand pulse systems, decision support system, intelligent core ontology, ontological system

**Постановка проблемы.** В современных условиях интеллектуализация процессов управления производством на всех этапах жизненного цикла изделий является основной тенденцией в развитии промышленных информационных систем. Данное обстоятельство обусловлено тем фактом, что для управления современными производственными объектами, в силу их сложности, зачастую невозможно применять методы, известные в классической теории управления. Наличие указанной тенденции порождает ряд прикладных проблем, связанных с реализацией новых информационных технологий решения задач на разных стадиях производственного цикла. Главная проблема состоит в преодолении сложности управления, когда необходим выбор из множества возможных решений. Это может быть инженерный выбор (как производить данное изделие), выбор расписания (в какой последовательности производить это изделие) и т.д. Данная проблема усугубляется постоянным ростом сложности изделий, что неизбежно влечет за собой усложнение процессов проектирования и подготовки производства. Вторая проблема связана с необходимостью постоянного уменьшения объема информации о текущем состоянии производственного объекта до того уровня, который действительно необходим лицу, принимающему решения (ЛПР), в соответствии с существующими ограничениями эргономического характера. Третья проблема проявляется также по мере усложнения производства и состоит в дефиците времени на принятие решения и координации решений различных ЛПР. Еще одной важной проблемой интеллектуализации производства выступает необходимость постоянного приобретения, сохранения и распределения знаний опытных производственников, накопленных ими в процессе многолетней работы, включая при этом не только позитивный, но и негативный опыт решения производственных задач.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Решению перечисленных выше проблем в последние годы посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных исследователей. Так, методология создания производственных систем, основанных на знаниях, изложена в монографиях И.П. Норенкова, П.К. Кузьмика [1], А.И. Громова, М.С. Каменновой [2], Г.Б. Евгенева [3]. Проблема организации эргономичного человеко-машинного интерфейса в производственных диалоговых системах рассматривается, в частности, Е.И. Яблочниковым [4]. В последней из указанных работ представлена и концепция создания единого пространства знаний в рамках производственного объекта, что дает возможность существенно повысить эффективность решений, принимаемых коллективом ЛПР. Решению последней из перечисленных выше проблем, которая, несомненно, относится к категории фундаментальных, посвящено множество публикаций, среди которых непосредственно вопросам интеллектуализации производства посвящено сравнительно небольшое количество работ, например [5].

**Нерешенные части проблемы.** Реализация совокупности процессов, связанных с перманентным выявлением, извлечением и структуризацией знаний опытных специалистов в области производства, на данном этапе развития производственных систем с искусственным интеллектом, требует разработки качественно новых подходов. Наиболее перспективным, по мнению ряда исследователей, например Т.П. Левашовой, М.П. Пашкина, А.В. Смирнова, Н.Г. Шилова [6], является применение онтологий в качестве хранилища знаний о производстве. Вместе с тем, на этой основе, до настоящего времени не разработана информационная технология синтеза производственных систем поддержки принятия решений (СППР) в машиностроении.

**Цель исследования** состоит в изложении комплексного подхода, предполагающего разработку отдельных онтологий, объединении их в онтологическую систему и в применении этой системы в качестве интеллектуального ядра СППР по выбору ручных импульсных устройств (РИУ) для выполнения операций сборочных процессов.

**Основные результаты исследования.** В последнее время в инженерии применяется определение онтологии как формальной спецификации согласованной концептуализации [7].

Под согласованной концептуализацией подразумевается, что данная концептуализация не является частным мнением, а является общей для некоторой общности людей.

**Определение 1.** Онтологический инжиниринг – теория и технология разработки онтологий [8].

При этом любая онтология имеет под собой концептуализацию, но одна концептуализация может быть основой разных онтологий, и две разные базы знаний (БЗ) могут отражать одну онтологию. Основными компонентами онтологии являются классы или понятия; атрибуты; отношения; аксиомы; экземпляры [9].

**Определение 2.** Экземпляры онтологии представляют собой единичные сущности, принадлежащие классам онтологии.

Например, Ручное импульсное устройство двойного действия.

Единицы онтологии (классы и экземпляры) могут иметь свойства – атрибуты. Каждый атрибут обычно имеет имя и значение и используется для хранения информации, которая специфична для данной единицы. Например, для экземпляра Ручное импульсное устройство двойного действия типичным атрибутом является Принцип действия привода.

**Определение 3.** Отношения в онтологии представляют тип взаимодействия между понятиями предметной области.

Отношения формально определяются как подмножество произведения  $n$  множеств  $R: E_1 \times E_2 \dots \times E_n$ . Пример бинарного отношения – отношение «часть – целое». Различие между отношениями и атрибутами заключается в том, что отношения связывают между собой два класса, а атрибут описывает внутренние свойства объектов посредством конкретных значений. Примером бинарного отношения может служить пара Ручное импульсное устройство – Рабочая часть РИУ.

В онтологиях, содержащих описание однозначно трактуемых предметных областей, к которым, в частности, относится и самолетостроение, наиболее значимым является так называемое таксономическое отношение (также известное как отношение «класс – подкласс», родовидовое отношение или «is a»-отношение).

**Определение 4.** Аксиомы (правила вывода) используются, чтобы записать истинные по определению высказывания об отношениях между сущностями предметной области.

Аксиомы могут быть включены в онтологию для разных целей, например для определения комплексных ограничений на значения атрибутов, аргументы отношений, для проверки корректности информации, описанной в онтологии, или для вывода новой информации. Например, **ЕСЛИ Материал обшивки Д16Т И Толщина листа 3 мм ТО Применять дорнование отвестий.**

**Определение 5.** Словарь (глоссарий) является онтологией с пустым множеством отношений [8].

Например, **словарем в онтологии «Сборка авиационных конструкций» может служить ОСТ 1.42064-80. Сборка самолетов. Термины и определения.**

Таксономия по своей природе является простейшей онтологией, которая строится, преимущественно, на отношениях типа «класс – подкласс». Вместе с тем, для отражения мерономического аспекта в семантике связей между концептами предметной области (ПрО), для некоторых типов онтологий целесообразно использование отношения типа «часть – целое». Например, при синтезе метаонтологии в составе онтологической системы, содержащей знания мире ручных импульсных устройств, такой тип отношений необходим для эксплицитного описания состава РИУ.

В ряде случаев, исходя из особенностей предметной области, в онтологиях должны быть предусмотрены ограничения на область значений свойств экземпляров. При этом для задания области значений свойств формируется ряд множеств, элементами которых являются целые числа или символы алфавита. Возможно также формирование указанных множеств из подмножества концептов онтологии (множества экземпляров данного класса, множества классов).

В целом, существует обратная зависимость между выразительной способностью любой конкретной онтологии, и сложностью ее структуры [10]. Указанное обстоятельство определяет необходимость использования минимально необходимого набора отношений (онтологических зависимостей) при соблюдении заданной адекватности онтологии по отношению к описываемой предметной области.

На практике, наиболее формализованные онтологии представляют собой логические теории, построенные на произвольных логических утверждениях о понятиях в рамках заданной системы аксиом. Для описания таких формальных онтологий применяются различные логики (дескриптивные логики, модальные логики, логика предикатов первого порядка) и различные языки описания онтологий DAML+OIL, OWL, CycL, Ontolingua [11].

В машиностроении и, в частности, в самолетостроении, имеет место однозначность трактовки понятий, а также отношений между ними. Исходя из этого, при разработке приложений в областях, непосредственно связанных с машиностроением, вполне допустимо ограничиться созданием так называемых легких онтологий (lightweight ontologies) [9, 10].

**Модели онтологий и онтологической системы поддержки принятия решений по выбору РИУ в авиастроении.**

Формально, онтология состоит из таксономии терминов, определений терминов и правил их обработки.

**Определение 6.** Формальной моделью онтологии  $O$  является упорядоченная триада объектов:

$$O = \langle E, R, F \rangle, \quad (1)$$

где  $E$  – конечное множество концептов (понятий, терминов) предметной области, которую представляет онтология  $O$ ;

$R$  – конечное множество отношений между концептами (понятиями, терминами) заданной предметной области;

$F$  – конечное множество функций интерпретации (аксиоматизация), заданных на концептах и/или отношениях онтологии  $O$ .

Естественным ограничением, накладываемым на множество  $E$ , является его конечность и непустота. В соответствии с (1)  $R$  и  $F$  должны быть конечными множествами. Рассмотрим, однако, граничные случаи, связанные с пустотой.

©Ю.А.Воробьев, Н.В.Нечипорук, В.Н.Кобрин, И.В.Шостак

Пусть  $R = O$  и  $F = O$ . Тогда онтология  $O$  трансформируется в простой словарь:

$$O = \langle E, \{ \}, \{ \} \rangle. \quad (2)$$

Такая вырожденная онтология может быть полезна для спецификации, пополнения и поддержки словарей ПО, но онтологии-словари имеют ограниченное использование, поскольку не вводят эксплицитно смысла терминов. В практике создания онтологий для решения производственных задач, когда используемые термины принадлежат очень узкому (например, техническому) словарю и их смыслы уже заранее хорошо согласованы в пределах определенного сообщества (например, производственного коллектива), такой подход является вполне оправданным.

Практика онтологического инжиниринга дает возможность построения модели расширяемой онтологии и исследования ее свойств. Как показано в работе [9], модель расширяемой онтологии является достаточно мощной для спецификации процессов формирования пространств знаний о предметной области «Использование РИУ в сборочных процессах». Вместе с тем и эта модель является неполной в силу своей пассивности даже там, где определены соответствующие процедурные интерпретации и введены специальные функции пополнения онтологии. Ведь единственной точкой управления активностью в такой модели является запрос на интерпретацию определенного концепта. Этот запрос выполняется всегда одинаково и инициирует запуск соответствующей процедуры. При этом собственно вывод ответа на запрос и/или поиск необходимой для этого информации остается вне модели и должен реализовываться другими средствами.

Учитывая вышесказанное, а также необходимость эксплицитной спецификации процессов функционирования онтологии, введем в рассмотрение понятие «онтологической системы».

**Определение 7.** Формальная модель онтологической системы  $S$  представляет собой триплет вида:

$$S = \langle q^{meta}, \{O^{pr}\}, M \rangle, \quad (3)$$

где  $q^{meta}$  – онтология верхнего уровня (метаонтология);

$\{O^{pr}\}$  – множество предметных онтологий и онтологий задач предметной области;

$M$  – модель машины вывода, ассоциированной с онтологической системой  $S$ .

Использование системы онтологий и специальной машины вывода с помощью описанной модели дает возможность решать различные задачи. Расширяя систему моделей  $\{O^{pr}\}$ , можно учитывать предпочтения пользователя, а, изменяя модель машины вывода – вводить специализированные критерии релевантности получаемой в процессе поиска информации и формировать специальные репозитории накопленных данных, а также пополнять при необходимости используемые онтологии.

В состав модели  $S$  входят три онтологические компоненты:

- 1) метаонтология «Применение РИУ при сборке авиационных конструкций»;
- 2) предметная онтология «Летательные аппараты»;
- 3) онтология задач «Обеспечение качества сборки летательных аппаратов».

Как указывалось выше, метаонтология  $q^{meta}$  оперирует общими концептами и отношениями, которые не зависят от конкретной предметной области. Концептами метауровня являются общие понятия, такие как «объект», «свойство», «значение» и т.п. Тогда на уровне метаонтологии  $q^{meta}$  мы получаем интенциональное описание свойств предметной онтологии и онтологии задач. Онтология метауровня, благодаря специфическим особенностям предметной области, является статической, что дает возможность обеспечить эффективный вывод на знаниях в процессе функционирования онтологической СППР.

Предметные онтологии  $\{O^{pr}\}$  содержат понятия, описывающие конкретную предметную область, отношения, семантически значимые для данной предметной области, и множество интерпретаций этих понятий и отношений (декларативных и процедурных). Понятия предметной области специфичны в каждой прикладной онтологии, но отношения –

©Ю.А.Воробьев, Н.В.Нечипорук, В.Н.Кобрин, И.В.Шостак

более универсальны. Поэтому, кроме отношения «is a» в качестве базиса обычно выделяют такие отношения модели предметной онтологии, как «part of», «kind of», «contained in», «member of», «see also» и некоторые другие.

Отношение «part of» определено на множестве концептов, является отношением принадлежности и показывает, что концепт может быть частью других концептов. Оно является отношением типа «часть – целое» и по свойствам близко к отношению «is a» и может быть задано соответствующими аксиомами. Аналогичным образом можно ввести и другие отношения типа «часть – целое».

Иначе обстоит дело с отношением «see also». Оно обладает другой семантикой и другими свойствами. Поэтому целесообразно вводить его не декларативно, а процедурно, подобно тому, как это делается, например, при определении новых типов в языках программирования, где поддерживаются абстрактные типы данных [12]. Ниже приведен соответствующий фрагмент записи на алгоритмическом языке высокого уровня C++:

**X see\_also Y:**

```
see_also member_of Relation {  
  if ( ( X is_a Notion ) & ( Y is_a Notion ) & ( X see_also Y ) )  
  if ( Operation connected_with X )  
  Operation connected_with Y  
};
```

Необходимо отметить, что отношение «see also» не удовлетворяет условию транзитивности. Если предположить, что  $(X1 \text{ see\_also } X2) \ \& \ (X2 \text{ see\_also } X3)$ , то можно считать, что  $(X1 \text{ see\_also } X3)$ . Однако, по мере увеличения длины цепочки объектов, связанных данным отношением, справедливость транзитивного переноса свойства «connected with» падает. Поэтому в случае отношения «see also» мы имеем дело не с отношением частичного порядка (как, например, в случае отношения «is a»), а с отношением толерантности. Указанное ограничение может быть учтено при интерпретации конкретного отношения.

Анализ специфики предметной области «Применение РИУ в сборочных процессах» показывает, что введенный выше набор отношений является достаточным для начального описания соответствующих онтологий. Понятно, что этот базис является открытым и может пополняться в зависимости от предметной области и целей, стоящих перед прикладной системой, в которой такая онтология используется.

Онтология задач в качестве понятий содержит типы решаемых задач, а отношения этой онтологии, как правило, специфицируют декомпозицию задач на подзадачи. Вместе с тем, если прикладной системой решается единственный тип задач (например, задачи поиска релевантной запросу информации), то онтология задач может в данном случае описываться словарной моделью, рассмотренной выше. Таким образом, модель онтологической системы позволяет описывать необходимые для ее функционирования онтологии разных уровней.

Машина вывода онтологической системы в данном случае будет опираться на сетевое представление онтологий всех уровней. При этом ее функционирование будет связано:

- с активацией понятий и/или отношений, фиксирующих решаемую задачу (описание исходной ситуации);
- определением целевого состояния (ситуации);
- выводом на сети, заключающемся в том, что от узлов исходной ситуации распространяются волны активации, использующие свойства отношений, с ними связанных. Критерием остановки процесса является достижение целевой ситуации или превышение длительности исполнения (time-out) [11].

Методологию и «жизненный цикл» создания онтологий обсудим на примере подхода METHONTOLOGY, разработанного Гомез-Перезом (Gomez-Perez) с коллегами, в рамках которого реализуются принципы Грубера, а также разработано программное окружение спецификации онтологий ODE (Ontology Design Environment) [7, 9].

В рамках этого подхода выделяются следующие процедуры в «жизненном цикле» создания онтологии: управление проектом, собственно разработка и поддержка разработки.

Процедуры управления проектом включают планирование, контроль и гарантии качества. Планирование определяет, какие задачи должны быть выполнены, как они организуются, как много времени и какие ресурсы нужны для их выполнения. Контроль

гарантирует, что запланированные задачи выполнены и именно так, как это предполагалось [10, 12].

В соответствии с общепринятой технологией, разработка онтологической системы включает спецификацию, концептуализацию, формализацию и реализацию. Спецификация определяет цели создания онтологии, ее предполагаемое использование и потенциальных пользователей. Концептуализация обеспечивает структурирование предметных знаний в виде значимой эксплицитной модели. На этапе формализации происходит преобразование концептуальной модели в формальную или «вычислительную». Этап реализации предполагает программирование вычислительной модели на соответствующем языке представления знаний.

Процедуры поддержки, а именно приобретение знаний, оценка, интеграция, документирование и управление конфигурациями, выполняются одновременно с разработкой. Без них онтология не может быть построена. Они представлены процедурами. Приобретение знаний аккумулирует знания в заданной предметной области. Оценка дает технические решения по оценке онтологии, соответствующего программного обеспечения и документации, как в процессе выполнения каждой фазы, так и между фазами. Интеграция требуется, когда новая онтология строится с использованием уже существующих приложений. Документирование дает детальную, понятную и исчерпывающую информацию о каждой фазе и продукте в целом. Управление конфигурациями необходимо для архивации всех версий документации, программного обеспечения и кода онтологии, а также для контроля за изменениями, имеющими место в ходе разработки.

Общая схема «жизненного цикла» создания онтологий в рамках подхода METHONTOLOGY представлена на рисунке.

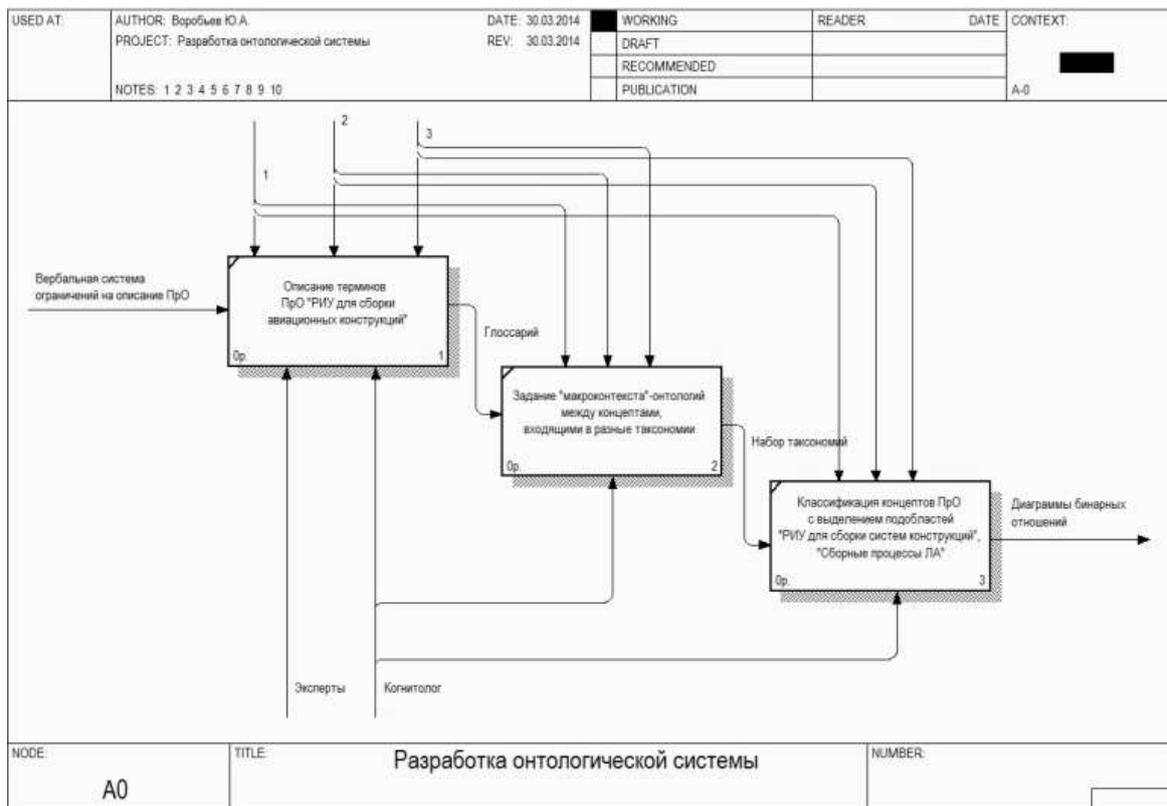


Рис. Разработка онтологической системы ОСППР по выбору РИУ при сборке авиационных конструкций в рамках подхода METHONTOLOGY

Необходимо отметить, что процесс построения онтологии здесь распадается на серию подпроцессов по созданию промежуточных представлений. При этом выполнение отдельных подпроцессов, хотя и осуществляется последовательно, возможен итеративный режим, поскольку качество реализации всего процесса определяется полнотой и точностью уже

©Ю.А.Воробьев, Н.В.Нечипорук, В.Н.Кобрин, И.В.Шостак

накопленных знаний.

В соответствии с рассматриваемой методологией, сначала строится глоссарий терминов (Glossary of Terms), затем деревья классификации концептов (Concept Classification Trees) и диаграммы бинарных отношений (Binary Relations Diagrams). И только после этого – остальные промежуточные представления.

**Выводы.** На основе изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Применение онтологического подхода к созданию производственных систем с искусственным интеллектом является перспективным с точки зрения повышения эффективности управления производством, а также сохранения интеллектуального капитала коллективов предприятий.

2. Интеллектуальное ядро производственных СППР целесообразно реализовывать в форме онтологических систем.

3. Специфика организации производства на машиностроительных предприятиях допускает возможность реализации онтологических систем в рамках технологии METHONTOLOGY.

1.Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.

2.Громов А.И., Каменнова М.С. Идеологические стандарты управления вчера, сегодня, завтра // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2001. №3.

3.Евгеньев Г.Б. Системология инженерных знаний. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 376 с.

4.Яблочников Е.И. Организация единого информационного пространства технической подготовки производства с использованием PDM SmartTeam // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2001. №3.

5.Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.

6.Левашова Т.В., Пашкин М.П., Смирнов А.В., Шилов Н.Г. Управление онтологиями // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2003, №5, с. 89-101.

7.Gomez-Perez A. From Knowledge based Systems to Knowledge Sharing Technology: Evaluation and Assessment // Technical Report of Knowledge Systems Laboratory. KSL-94-73. Stanford University, CA., 1994.

8.Смирнов А.В., Пашкин М.П., Шилов Н.Г. и др. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации // Новости искусственного интеллекта. 2002. №1, 2.

9.Gruber T. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing // IJHCS, 1994, V. 43. № 5/6.

10.Sowa J. Building, Sharing, and Merging Ontologies. 2001. <http://www.ifsowa.com/ontology/ontoshar.html/>

11.McGregor R., Patil R.S. Tools for Assembling and Managing Scalable Knowledge Bases, 1997. <http://www.isi.edu/isd/-OntoLoom.hpkb/>

12.Ushold M., Gruninger M. Ontologies: Principles, Methods, and Applications // Knowledge Engineering Review, 1996. V. 11 №2.

Стаття надійшла до редакції 13.04.2014.