



# OSTIS-2015

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.891

## МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ НЕЧЕТКИХ ОНТОЛОГИЙ СЛОЖНЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Мошкин В.С., Ярушкина Н.Г.

*Ульяновский государственный технический университет,  
г. Ульяновск, Российская Федерация*

**PostForVadim@yandex.ru**

**jng@ulstu.ru**

В данной работе представлена методология построения нечетких онтологий с точки зрения организационного процесса в условиях сложной предметной области и наличия нескольких экспертов, описывающих её в терминах OWL. Помимо этого, рассмотрены особенности построения нечеткой онтологии с использованием методологии Fuzzy OWL на примере онтологии состояния локальной вычислительной сети с последующей интеграцией связанных знаний, представленных в форме системы продукционных правил.

**Ключевые слова:** онтология, нечеткая онтология, логический вывод, fuzzy owl.

### Введение

В настоящий момент для разработки систем, основанных на знаниях, актуальной является задача объединения различных репрезентативных подходов с целью обеспечения наиболее полного представления знаний в рассматриваемой области.

Типичными моделями представления знаний в экспертных системах поддержки принятия решений являются:

- продукционная модель;
- модель, основанная на использовании фреймов;
- модель семантической сети;
- логическая модель;
- онтологическая модель.

Одной из возникающих проблем при решении задачи логического вывода знаний, необходимых в процессе анализа показателей состояния реально существующей сложной технической системы, является проблема полноты и адекватности описания предметной области.

Онтология, будучи формальным отображением реальности, требует четкого представления информации, а реальность не всегда может быть четко выражена. Такое несоответствие порождает сложности концептуального характера. Среди таких сложностей – реализация процедур адекватного нечеткого логического вывода, реализация адекватных блоков интеграции онтологической

информации и прочее. В связи с тем, что объединение различных форматов представления знаний на онтологической основе является наиболее удачным с точки зрения автоматизированной обработки и восприятия человеком методом формирования базы знаний экспертных систем, одной из наиболее актуальных задач в сфере интеллектуализации таких систем является решение проблемы учета нечеткости в человеческих рассуждениях [Ярушкина и др., 2014].

Переход от обычных онтологий к нечетким выглядит вполне естественным, поскольку понятия и отношения естественного языка, представляющие собой исходный материал для построения онтологии неоднозначны, неточны и не имеют жестких границ. Поэтому адекватным средством формализации онтологий могут служить модели на базе лингвистических переменных, нечеткие множества, нечеткие отношения, нечеткие графы и нечеткие деревья, нечеткие ограничения, нечеткие реляционные и алгебраические системы [НГС, 2007].

При интеграции онтологии и систем продукционных правил, пользователь не получает возможности выбора варианта действия в связи с ограниченностью инструмента логического вывода на основе четких экспертных знаний. В случае же введения в онтологию отдельных наборов нечетких отношений и объектов, в результате вывода пользователь получает более широкое множество вариантов решения поставленной задачи, каждый из которых обладает определенной мерой

уверенности, выраженной соответствующим значением функции принадлежности.

## 1. Построение нечетких онтологий сложной предметной области

Онтология представляет собой систему, состоящую из множества понятий, их определений и аксиом, необходимых для ограничения интерпретации и использования понятий. Чем сложнее формализуемая проблемная область, тем больше внимания необходимо уделять унификации форматов представляемых данных.

Помимо этого, при построении онтологии нужно учесть субъективную оценку понятий предметной области отдельным экспертом, исходя из его компетентности в данной конкретной подобласти рассматриваемой области. Это также возможно реализовать с помощью задания значений соответствующих функций принадлежности, т.е. посредством внесения нечеткости в разрабатываемую онтологию.

На рисунке 1 в общем виде представлена методика построения нечетких онтологий сложной предметной области.

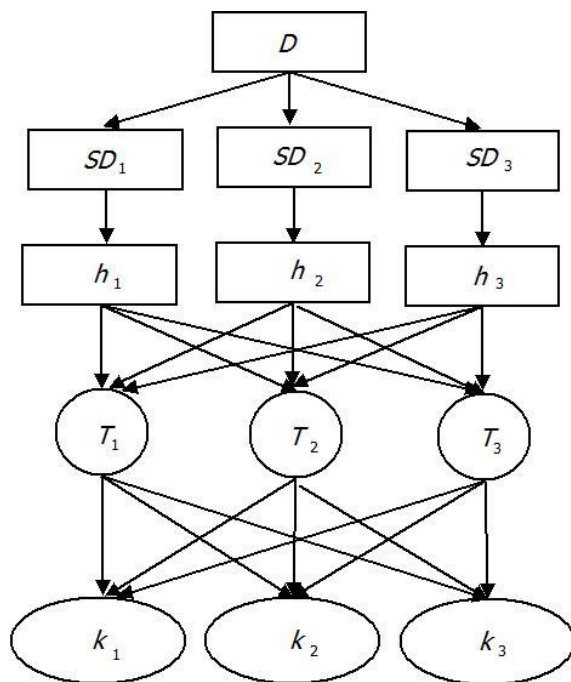


Рисунок 1 – Построение нечеткой онтологии

Здесь на первом (верхнем) уровне расположена комплексная проблемная область  $D$ , которая предполагает слияние источников информации (экспертов, коллекций текстов) из разных областей. Проблемная область (ПрО) разбивается на соответствующие подобласти  $SD$  (второй уровень), причем каждая подобласть характеризуется своими источниками информации (третий уровень). Чаще всего такими источниками информации являются эксперты каждой конкретной подобласти, которые при этом имеют определенное представление о

категориях и понятиях смежных подобластей в рамках единой ПрО  $D$ .

Экспертами строится иерархия понятий ПрО, где на четвертом уровне находятся базовые понятия или категории онтологии  $T_i$ , где  $i = [1 \dots n]$ , а на пятом (нижнем) уровне – лингвистические переменные, относящиеся к именам категорий  $k_j$ , где  $j = [1 \dots m]$ . При этом нечеткость отношения между категорией онтологии и конкретной лингвистической переменной выражается в присвоении этому отношению значения функции принадлежности  $0 \leq \mu(t, k) \leq 1$ , где

$t \subseteq T_i, k \subseteq K_j$ . При этом совокупность категорий онтологии, лингвистических переменных, а также значений соответствующих функций принадлежности образуют нечеткие множества категорий рассматриваемой онтологии [Тарасов и др., 2012].

При разработке онтологической системы эксперты производят выбор и соотнесение имен категорий с ключевыми словами. Поскольку каждый эксперт есть специалист в определенной подобласти ПрО, а уровень его компетентности в других подобластях ниже, предварительно определяется вес эксперта по разделам (подобластям) ПрО, выражаемый числом из интервала  $[0, 1]$ . Далее эксперты определяют степень связи между категорией  $T_i$  и ключевым словом  $k_j$ , которая также задается числом из интервала  $[0, 1]$ . Сближение значений весов может характеризовать «степень разделения» онтологии разными специалистами.

Рассмотрим особенности данной модели на примере построения нечеткой онтологии тестирования состояния ЛВС при искусственном повышении трафика. Формализуемая предметная область ( $D$ ) была разделена на подобласти, основными объектами рассмотрения которых были:

- $SD_1$ : сетевое оборудование ЛВС;
- $SD_2$ : ПО администрирования ЛВС;
- $SD_3$ : ПО и аппаратное обеспечение (АО) тестирования сети.
- $SD_4$ : основные характеристики работоспособности сети.

Так как построение онтологии производилось коллективом экспертов на базе конкретной ЛВС, третий уровень модели включает лишь один источник информации  $h$  и каждое понятие ПрО, выделенное группой экспертов в виде класса или объекта онтологии, имеет 1 в качестве значения веса выдлившего его эксперта.

Для некоторых свойств онтологии введены лингвистические переменные: например, для отношения «имеетКоличествоКолизий» – «большое», «среднее», «малое». Значения свойств вводятся как нечеткие утверждения с некоторым значением, соответствующим функции принадлежности  $\mu(t, k)$ . Значения данных свойств

рассматриваются как предикаты  $p$ , зависящие от фактического значения показателей характеристик работоспособности ЛВС:

$< \text{«Сеть»}, \text{«имеетКоличествоКоллизий»}, \text{«большое»}, p_{\text{большое}}(\text{Значение показателя}) >$

Потребность в онтологии подобного вида не подлежит сомнению в связи с тем, что она позволит решать задачи оптимизации процессов в общем виде. Блок нечеткого логического анализа, использующий помимо таким образом построенной нечеткой онтологии еще и набор SWRL-правил с заложенными лингвистическими переменными в качестве параметров правил, позволит эффективно извлекать полезную информацию из малого набора утверждений [Кучеренко и др., 2005].

## 2. Методика построения нечетких онтологий Fuzzy OWL

Формальная семантика OWL описывает, как получить логические следствия, имея такую онтологию, т.е. получить факты, которые не представлены в онтологии буквально, но следуют из ее семантики.

OWL (англ. Web Ontology Language) — язык описания онтологий, позволяющий представлять классы и отношения между ними. В основе языка — представление действительности в модели данных «объект — свойство». OWL является переформулировкой дискрипционной логики (ДЛ) с использованием синтаксиса XML.

### 2.1. Расширение OWL с помощью Fuzzy OWL

В настоящее время существует наиболее универсальный и имеющий достаточную поддержку со стороны разработчиков интеллектуальных экспертных систем подход к построению нечетких онтологий - методология Fuzzy OWL.

Синтаксис Fuzzy OWL предполагает три формата используемого алфавита: для представления нечетких классов (fuzzy concepts), нечетких отношений (fuzzy roles) и нечетких объектов классов онтологии (fuzzy individuals).

В отличие от OWL DL, реализующей разновидность дискрипционной логики  $SHOIN(D)$ , концепция Fuzzy OWL охватывает все положения логики  $SROIQ(D)$ :

- $S$  — это набор базовых классов, имен свойств и имен объектов, является подмножеством DL в связке с транзитивными свойствами;
- $R$  — возможность определения составных аксиом вложенности ролей в наборе аксиом перечисленных видов :  $R \circ S \subseteq R, R \circ S \subseteq S$ , где  $R \circ S$  - композиция ролей;
- $O$  — наличие номиналов (так называемых классов единичных объектов);
- $I$  — наличие обратных свойств;

- $Q$  — качественные ограничения кардинальности ролей;

- $(D)$  — типы данных, свойства, которые связывают объекты с типами данных [Bobillo et al., 2009].

### 2.2. Свойства-аннотации OWL

Основополагающим элементом методологии построения нечетких онтологий с точки зрения структуры OWL, является наличие свойства-аннотации fuzzyLabel, которое хранит параметры и значения функции принадлежности, соотносимые с конкретным классом, объектом, отношением внутри заданного нечеткого множества данных [Bobillo et al., 2011].

Свойства-аннотации OWL могут использоваться для добавления информации для классов, отдельных индивидов и свойств объектов/типов данных. OWL позволяет аннотации с различной информацией и метаданными классов, свойств, индивидов и онтологий. Эти части информации могут принимать форму аудита или редакционной информации.

Разновидность языка OWL - OWL DL, используемая в экспертных системах для дальнейшего получения знаний из уже существующих в онтологии, накладывает ряд ограничений на использование свойства аннотации — двумя из наиболее важных ограничений являются:

- наполнителем для свойства аннотации должны быть символьные данные, ссылки URI или индивиды;
- в свойствах аксиом нельзя использовать свойства аннотации, например они не могут использоваться в иерархии свойств, поэтому они не могут иметь подсвойства, или быть подсвойством другого свойства. Также для них не должны устанавливаться домен и диапазон [Lee et al., 2005].

### 2.3. Особенности методологии Fuzzy OWL

Методология Fuzzy OWL с помощью необходимых параметров нечеткости в аннотациях к элементам онтологии предполагает возможность делать нечеткими:

- классы;
- объекты классов онтологий;
- свойства (свойства типов данных и свойства объектов);
- аксиомы онтологий.

Алгоритм задания нечеткого отношения, согласно методике Fuzzy OWL, выглядит следующим образом:

1. Создается новое свойство-аннотация fuzzyLabel, в котором будут задаваться параметры нечеткости каждого элемента онтологии;
2. Лингвистические переменные определяются в форме новых созданных типов данных (Datatype).

3. Для каждого созданного типа данных задаются верхнее и нижнее границы принимаемых значений, выбирается тип функции принадлежности и для нее задаются соответствующие параметры [Straccia, 2005]. Пример определения лингвистической переменной «БольшоеЧислоКоллизий» и соответствующей функции принадлежности:

```
<AnnotationAssertion>
  <AnnotationProperty IRI="#fuzzyLabel"/>
  <IRI>#БольшоеЧислоКоллизий</IRI>
  <Literal datatypeIRI="&rdof;PlainLiteral">
    <fuzzyOwl2 fuzzyType="datatype">
      <Datatype type="rightshoulder"; a="15.0"
b="30.0"/>
    </fuzzyOwl2>
  </Literal>
</AnnotationAssertion>
```

Методология Fuzzy OWL предполагает аналитическое определение нескольких возможных типов функций принадлежности:

- Треугольные (triangular);
- Трапецевидные (trapezoidal);
- Линейные (linear);
- Лево- и правосторонние (left-shoulder and right-shoulder).

### 3. Логический вывод на базе нечеткой онтологии

#### 3.1. Особенности представления знаний в SWRL

Формой представления знаний, позволяющей делать непосредственный вывод из содержащихся в онтологии данных и дополнять её новыми, является форма набора SWRL-правил.

Semantic Web Rule Language (SWRL) – это технология, которая основана на объединении OWL и RuleML, т.е. объединены онтологии (OWL DL) и правила.

Представление рассматриваемой области знаний в виде причинно-следственных связей объясняется тем, что рекомендации и выводы в области применения чаще всего имеют форму сложных условных высказываний [Воронина и др., 2010].

В общем виде SWRL-правила, обеспечивающие процесс логического вывода рекомендации, определены выражением 1.

$$a_1 \wedge a_2 \wedge \dots \wedge a_n \rightarrow b, \quad (1)$$

где

$a_1, \dots, a_n$  – предикаты (атомы) антецедента (условия),

$b$  – консеквент (следствие) правила, состоящий из одного атома.

Выражение в SWRL, т.е. SWRL-правило, состоит из головы и тела: голова – это консеквент продукционного правила и может состоять только из одного атома, а тело – это антецедент, который может состоять из нескольких атомов.

Процесс вывода новых фактов из содержащихся в онтологии осуществляется посредством использования ризонера, поддерживающего соответствующий вид логики.

Принципы работы механизма ризонинга на основе SWRL-правил имеют ряд преимуществ перед остальными подобными технологиями:

- правила SWRL не содержат конкретных объектов, а только ссылаются на них, что дает возможность применять одно и то же правило к ряду групп объектов;
- правила SWRL могут быть добавлены к OWL-описанию, т.е. включены в онтологию;
- написание и «чтение» правил удобнее, если для этого существует специальный язык [Соловьев и др., 2006].

В общем виде SWRL-правила (на примере проблемной области оценки состояния ЛБС) с учетом возможности обработки нечетких значений отношений, представленных в онтологии, выглядят следующим образом:

*Ситуация(?x)  $\wedge$*

*включаетПоказатель(?x,Сеть)  $\wedge$*

*имеетКоличествоКоллизий (Сеть, большое)  $\wedge$*

*включаетПоказатель(?x,Сеть)  $\wedge$*

*имеетФоновуюНагрузку(Сеть, невысокая)  $\rightarrow$*

*предполагает(?x, Проблема\_архитектуры)*

В правила, помимо нечетких отношений и объектов, могут включаться и конкретные численные значения соответствующих показателей, а также наименования, четкие отношения и другие характеристики, заданные в онтологии.

Значениям лингвистических переменных, заданным в теле SWRL-правила, соответствуют некоторые степени принадлежности, определенные в OWL-онтологии, и в дальнейшем формирующие некую величину степени уверенности в процессе вывода сыгравшего правила.

#### 3.2. Алгоритм логического вывода на базе нечеткой онтологии

Логический вывод рекомендаций с использованием онтологии, содержащей нечеткие отношения, классы, а также объекты классов, имеет существенные отличия по сравнению с извлечением знаний из четкой онтологии (см. рисунок 2).

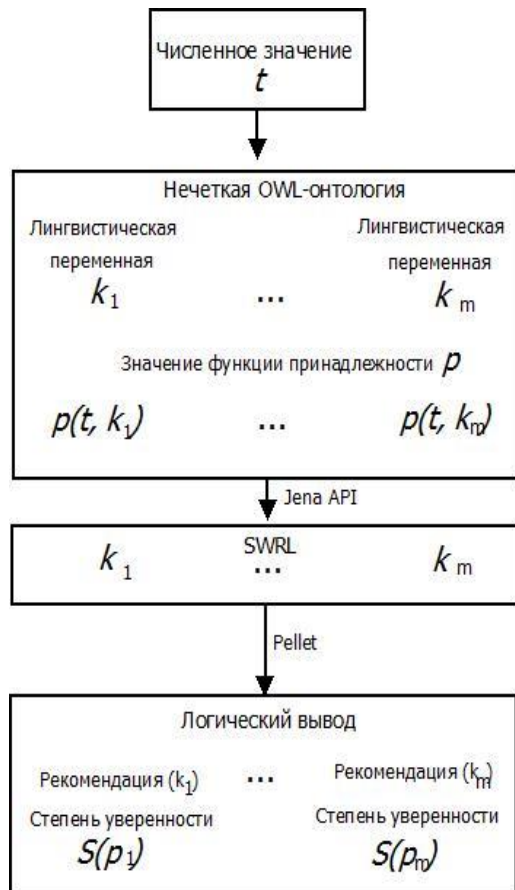


Рисунок 2 – Логический вывод на основе нечеткой онтологии

Основная последовательность действий в процессе логического вывода рекомендации на основе взаимодействия нечеткой OWL-онтологии и системы продукционных SWRL-правил включает в себя следующие этапы:

4. Проверка входных данных на наличие в онтологии соответствующих классов, отношений, объектов;
5. Определение лингвистических переменных и соответствующих значений функции принадлежности по численному значению входного параметра, определенного в онтологии;
6. Запрос на выполнение набора правил анализа ситуации и вывода рекомендации;
7. Запрос на получение связанных данных (обращение к родителям объектов);
8. Запрос на выполнение правил с учетом полученных связанных данных;
9. Вывод результата анализа (одна или несколько рекомендаций) в виде объекта разработанной OWL-онтологии с учетом показателя степени уверенности  $S$ .

При этом показатель степени уверенности является функцией от поступающих значений функций принадлежности, относящихся к заложенным в соответствующем правиле значениям предметной области (см. выражение 2):

$$S_{Rule} = \prod_{i=1}^l \mu(t_i, k_j) \quad (2)$$

где  $t$  – термин проблемной области, присутствующий в сработавшем SWRL-правиле;  
 $k$  – лингвистическая переменная,  $j = [1..m]$ ;  
 $\mu(t, k)$  – значение соответствующей функции принадлежности.

В целях повышения наглядности полученного результата, необходимо провести нормализацию показателей степеней уверенности всех сработавших правил:

$$S_{n \text{ NORM}} = \frac{S_n}{\max(S_n)} \quad (3)$$

где  $S_{n \text{ Norm}}$  – нормализованное значение степени уверенности рекомендации каждого  $n$ -ого правила.

Таким образом, наиболее вероятное решение по исправлению той или иной ситуации, моделируемое значениями входных параметров, будет иметь значение степени уверенности равное 1.

В конечном же итоге, пользователь экспертной системы получит на выходе набор рекомендаций на естественном языке, каждой из которых будет поставлено в соответствие некоторое значение  $S = [0..1]$ . Таким образом, благодаря включению нечеткости в описание предметной области, значительно снижаются риски потери возможных результатов работы блока логического вывода, увеличивается гибкость процесса вывода, а пользователю предоставляется гораздо широкий выбор вариантов, которые при этом упорядочены по мере их релевантности с точки зрения совокупности экспертных знаний, заложенных в онтологии и наборе правил.

## Заключение

Таким образом, предложенная в данной работе методология построения нечетких онтологий с точки зрения организационного процесса в условиях сложной предметной области и наличия нескольких экспертов, описывающих её в терминах OWL, позволяет:

- а. существенно сократить временные издержки построения онтологии;
- б. избежать противоречий в интерпретации и формализации того или иного элемента предметной области;
- с. снизить субъективную составляющую оценки понятий Про отдельным экспертом, исходя из его компетентности в данной конкретной подобласти рассматриваемой области.

Все это возможно реализовать с помощью задания степени принадлежности всем определяемым объектам и отношениям, т.е. посредством внесения нечеткости в разрабатываемую онтологию.

Рассмотренная в статье методология построения нечетких онтологий Fuzzy OWL позволяет значительно расширить возможности использования онтологий в процессах получения

новых знаний из уже определенных в ней, еще больше приблизить формализованное представление знаний о ПрО к естественному для человека варианту их представления и восприятия.

Описанный в работе модифицированный алгоритм интеграции онтологической и продукционной форм хранения и представления знаний, благодаря введению нечеткости в элементы онтологии, снижает риски потери возможных результатов работы блока логического вывода основанной на данной базе знаний экспертной системе, а также увеличивает гибкость процесса вывода рекомендации, предоставляя пользователю более широкий выбор вариантов, упорядоченных по степени их релевантности.

## Библиографический список

[Воронина и др., 2010] Воронина И.Е., Пигалкова Е.А. Интеграция знаний продукционного характера в правовую онтологическую модель с помощью SWRL-правил // Вестник ВГУ, серия «Системный анализ и информационные технологии». – 2010. – № 2. – С. 139–144.

[Кучеренко и др., 2005] Кучеренко Е.И., Павлов Д.А. Некоторые аспекты анализа развития нечетких онтологий. // Искусственный интеллект. Донецк. 2005. – С.162-169.

[НГС, 2007] Нечеткие гибридные системы/ И.З.Батыршин, А.О.Недосекин, А.А.Стецко, В.Б.Тарасов, А.В.Язенин, Н.Г.Ярушкина. – М.: Физматлит, 2007.

[Соловьев и др., 2006] Соловьев В.Д., Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В. Онтологии и тезаурусы. Учебное пособие. – Казань, Москва. -2006.

[Тарасов и др., 2012] Тарасов В.Б., Калущая А.П., Святкина М.Н. Гранулярные, нечеткие и лингвистические онтологии для Обеспечения взаимопонимания между когнитивными агентами // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2012): материалы II междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БГУИР, 2012. – С. 267-278.

[Ярушкина и др., 2014] Ярушкина Н.Г., Мошкин В.С. Применение онтологического подхода к анализу состояния локальной вычислительной сети // Радиотехника. – 2014. – № 7. – С. 120–124.

[Bobillo et al., 2009] Bobillo F., Straccia U. Fuzzy description logics with general t-norms and datatypes // Fuzzy Sets and Systems 160 (23) - 2009 – p. 3382–3402.

[Bobillo et al., 2011] Bobillo F., Straccia U. Fuzzy ontology representation using OWL 2 // International Journal of Approximate Reasoning. Vol. 52 - 2011. - p. 1073–1094

[Lee et al., 2005] Lee C.S., Jian Z.-W., Huang L.-K., A fuzzy ontology and its application to news summarization // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, PartB Vol. 5.- 2005. - p. 859–880.

[Straccia, 2005] Straccia U. Towards a Fuzzy Description Logic for the Semantic Web // 2nd European Semantic Web Conference, 2005. – P. 167-181.

## METHODS OF CONSTRUCTION OF FUZZY ONTOLOGIES OF COMPLEX SUBJECT AREAS

Moshkin V.S., Yarushkina N.G.

*Ulyanovsk State Technical University, Russian Federation*

**PostForVadim@yandex.ru**

**jng@ulstu.ru**

This paper presents a methodology for constructing fuzzy ontologies from the perspective of the

organizational process in a complex domain and the presence of several experts, describing it in terms of OWL. In addition, the features of the construction of fuzzy ontology using the methodology of Fuzzy OWL ontology for example, the state of the local area network with subsequent integration-related knowledge presented in the form of production rules.

## Introduction

Ontology, as a formal representation of reality, requires a clear presentation of information, but the reality may not always be clearly expressed. This discrepancy raises conceptual complexity.

The transition from conventional to fuzzy ontologies looks quite natural, since the concepts and relations of natural language, which are the raw material for building ontology ambiguous, imprecise and do not have rigid boundaries.

## Main Part

Fuzzy ontology consisting of five levels reduce the subjective component evaluation data domain concepts of individual experts on the basis of its competence in a given subregion this area.

There are the most versatile approach to the construction of fuzzy ontologies - Methodology of Fuzzy OWL. Fuzzy OWL syntax involves three formats used alphabet to represent fuzzy concepts, fuzzy roles and fuzzy individuals. The concept of Fuzzy OWL covers all the provisions of logic SROIQ (D).

Thanks to the inclusion of fuzziness in the description of the subject area, significantly reduces the risk of loss of possible outcomes of the unit inference increases the flexibility of the process output, and the user is given a much wide range of options that are ordered at the same time as their relevance in terms of combined expertise, embedded in ontology and a set of rules.

## Conclusion

Thus, proposed in this paper a methodology for constructing fuzzy ontologies from the perspective of the organizational process in a complex domain reduce the subjective component evaluation data domain concepts of individual experts on the basis of its competence in this area.

Considered in the paper the methodology of constructing fuzzy Fuzzy OWL ontologies can significantly extend the possibilities of using ontologies in the process of acquiring new knowledge from already defined in it.

Modified algorithm of integration ontological forms a production storage and presentation of knowledge, thanks to the introduction of fuzziness in the ontology elements, reduces the risks of loss of the possible outcomes of the unit inference based on this knowledge base of the expert system.