

УДК 004.82:004.89:519.816

РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИИ ДЛЯ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫХ ОБЛАСТЯХ

Г.Б. Загорулько

*Институт систем информатики им. А.П. Ершова Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, Россия
gal@iis.nsk.su*

Аннотация

В статье представлена онтология области знаний «Поддержка принятия решений в слабоформализованных областях». Рассматриваются вопросы, связанные с контекстом предполагаемого использования онтологии. Данная онтология разрабатывается в качестве концептуальной основы интеллектуального научного Интернет-ресурса, который содержит систематизированную информацию об этой области знаний, предоставляет содержательный доступ к информации, методам её обработки, а также к методам решения типичных задач. В статье показано, что область знаний, описываемая онтологией, является расширением классической теории принятия решений, в фокусе исследований которой находятся вопросы, связанные с формированием, оцениванием и выбором вариантов решения проблемных ситуаций, т.е. заключительными этапами принятия решений. Представленная онтология, наряду с понятиями классической теории принятия решений, описывает средства и методы, которые были получены в смежных научных дисциплинах и которые могут успешно применяться в процессе принятия решений, в том числе и на его начальных этапах. Данная онтология, содержит также понятия, позволяющие описывать программные разработки и Интернет-ресурсы, созданные в рассматриваемой области знаний, что значительно повышает ценность создаваемого ресурса.

Ключевые слова: онтология, научный Интернет-ресурс, поддержка принятия решений, слабоформализованная область.

Цитирование: Загорулько, Г.Б. Разработка онтологии для Интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях / Г.Б. Загорулько // *Онтология проектирования*. – 2016. – Т. 6, №4(22). – С. 485-500. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.

Введение

Несмотря на большое количество методов поддержки принятия решений (ППР), проблема их использования для практических задач остаётся нерешённой, особенно в слабоформализованных областях. Это обусловлено сложностью методов, отсутствием их систематизированного описания и свободного доступа к реализациям. В то же время возрастает потребность в таких методах у большого числа лиц, не имеющих соответствующей квалификации и навыков их применения. Поэтому возрастает роль средств, поддерживающих процесс использования методов ППР, и в связи с этим очень важным представляется создание специализированного интеллектуального научного Интернет-ресурса по поддержке принятия решений (далее, ИНИР ППР).

Статья посвящена описанию разрабатываемой онтологии, на которой базируется ИНИР ППР. Создание любой онтологии – сложный итерационный процесс. Невозможно разработать полезную онтологию «вообще» без её связи с тем контекстом, в котором она будет использоваться. Прежде чем приступить к описанию онтологии, необходимо рассмотреть, с какой целью и для кого она создаётся, какие задачи должна решать. Далее необходимо ука-

зять границы области знаний (ОЗ), которую будет описывать эта онтология. После этого можно приступить к описанию ключевых понятий моделируемой области знаний, их свойств, связей и ограничений.

1 Назначение, целевая аудитория и область знаний разрабатываемой онтологии

Рассматриваемая онтология разрабатывается для ИНИР ППР в слабоформализованных областях. При создании этого ресурса используются методология и технология, разработанные в ИСИ СО РАН [1]. Согласно методологии ИНИР – это информационно-аналитическая система с web-интерфейсом, которая содержит систематизированную информацию, относящуюся к определённой области знаний, и предоставляет содержательный доступ к этой информации, методам её обработки, принятым в данной ОЗ, а также к методам решения типичных для данной ОЗ задач. Основу такого ИНИР составляет онтология, которая служит не только для формализации и систематизации различных видов знаний, данных и средств обработки и анализа информации, интегрируемых в информационное пространство ИНИР, но и для организации удобного содержательного доступа к ним.

Можно выделить несколько основных типов пользователей, которым будет интересен и полезен рассматриваемый ИНИР ППР:

- эксперты и лица, принимающие решения (ЛПР) в своих областях деятельности;
- исследователи, разрабатывающие методы принятия решений;
- лица, изучающие область знаний «Теория принятия решений»;
- разработчики, создающие программные продукты, в частности, системы поддержки принятия решений (СППР), для предметных областей (ПрО).

Всем пользователям ИНИР ППР нужна, прежде всего, содержащаяся в нём информация о процессе, задачах и методах ППР. Ресурс предоставляет возможности высокоуровневого справочника, описывающего свойства и семантические взаимосвязи интересующих пользователя понятий. Онтология играет в этом справочнике роль семантического каталога. Важной особенностью ИНИР ППР, отличающей его от подобных ресурсов, является предоставление доступа к методам ППР. Эта возможность поднимает эффективность и удобство использования ИНИР на качественно новый уровень. Пользователь получает удобный инструмент для обработки и анализа необходимой ему информации, позволяющий также непосредственно опробовать разные методы решения интересующих его задач. Пользователям-разработчикам, помимо информации и возможности опробовать необходимые методы, нужны ещё и конкретные реализации методов, которые они могли бы использовать в создаваемых ими продуктах. ИНИР предлагает таким пользователям репозитарий готовых методов.

Областью знаний ИНИР является ППР в слабоформализованных областях (рисунок 1). Эта область рассматривается как расширение классической теории принятия решений (ТПР). В литературе, посвященной ТПР, содержатся разные формулировки её объекта и предмета исследования. Однако исследователи сходятся во мнении, что основным назначением ТПР является поиск и обоснованный выбор наиболее предпочтительных для человека вариантов решения проблемы [2-4]. В фокус исследований ТПР попадают методы, связанные с формированием, оцениванием и выбором лучших или просто приемлемых вариантов решения проблемных ситуаций (ПС), т.е. с поддержкой ЛПР на заключительных этапах принятия решений. В работах О.И. Ларичева [4, 5] отмечено, что в процессе принятия решений всегда переплетены наука и искусство, однако на начальных этапах научные методы не играют важной роли. Решаемые на этих этапах задачи не рассматриваются в рамках различных теорий

выбора, поскольку они в основных своих чертах не формализованы и решаются благодаря навыкам и умениям консультанта и ЛПР.

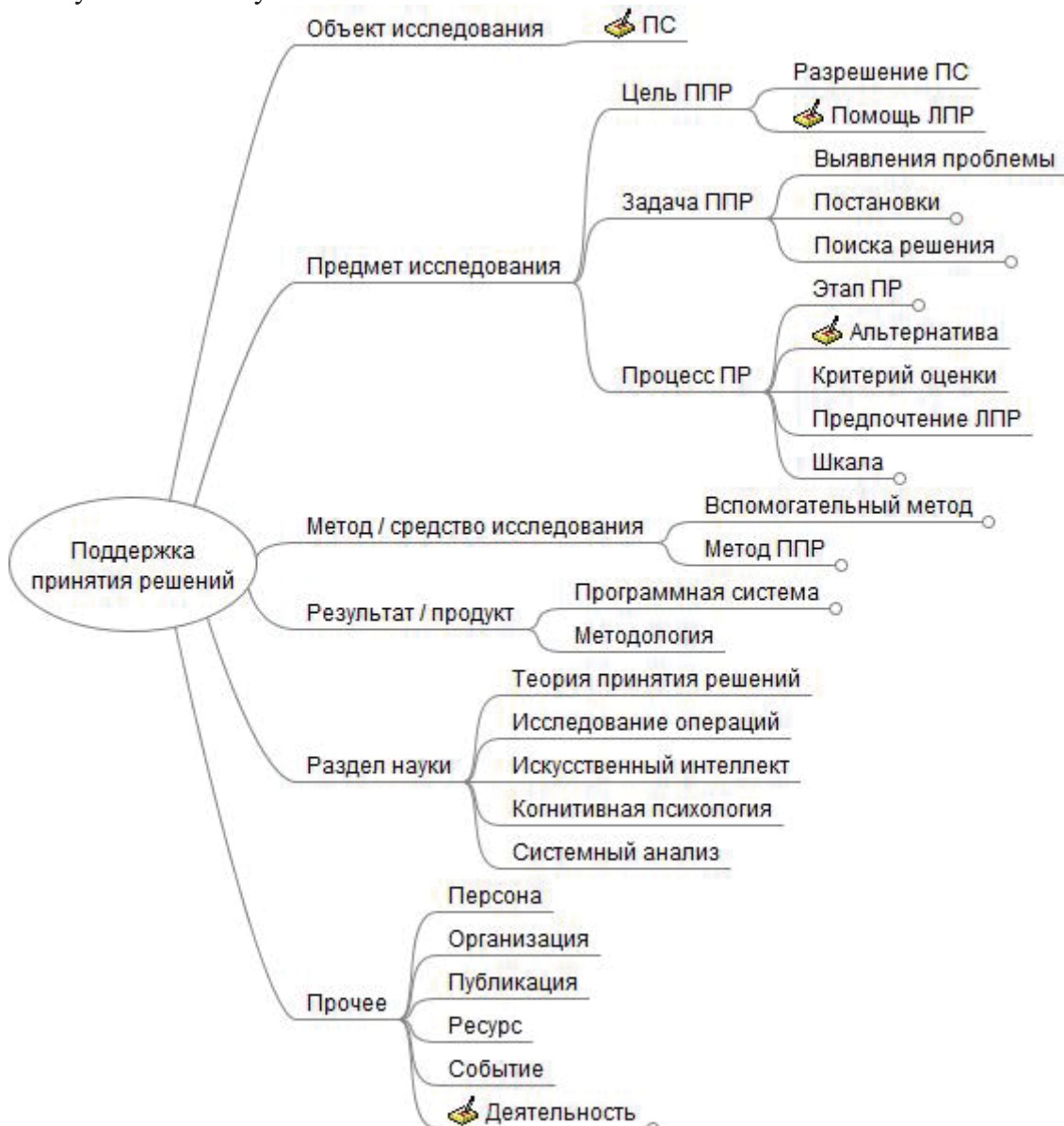


Рисунок 1 – Область знаний «Поддержка принятия решений» в слабоформализованных областях

Однако результаты, достигнутые в последние 10-15 лет в области искусственного интеллекта, когнитивной психологии, системного анализа, позволяют привнести научную составляющую в ранее не формализуемые ОЗ. В рамках этих смежных научных дисциплин были разработаны подходы и методы, позволяющие структурировать ПрО, диагностировать ПС, анализировать объективные и субъективные факторы, находить варианты решения проблемы. При этом делается упор на методы, которые используются в слабоформализованных областях, для которых характерны такие факторы, как неопределённость и неполнота исходных данных, отсутствие аналитической модели решаемой задачи, качественный, декларативный характер используемой информации.

Наряду с понятиями, связанными с процессом принятия решений и методами его поддержки, ОЗ «ППР» рассматривает и вопросы, связанные с программной реализацией методов, а также с осуществляемой в её рамках деятельностью (рисунок 1).

2 Онтология области знаний «Поддержка принятия решений в слабоформализованных областях»

Онтология области знаний «ППР в слабоформализованных областях» описывает понятия, представленные на рисунке 1. Являясь онтологией ИНИР, она строится, согласно [1], на основе базовых онтологий научного знания, научной деятельности, задач и методов, научных информационных ресурсов путём дополнения и конкретизации содержащихся в них понятий.

Онтология научного знания, по своей сути, является метаонтологией. Она содержит метапонятия и отношения, задающие структуры для описания ОЗ ресурса, такие как *Предмет исследования*, *Объект исследования*, *Метод/Средство исследования*, *Результат/продукт*, позволяющие выделить в данной области значимые разделы и подразделы, установить её связь со смежными разделами науки, задать типизацию предметов, объектов и методов исследования, описать результаты научной деятельности.

Ввиду особой важности для рассматриваемой ОЗ и тесной взаимосвязи таких понятий, как *Задача ППР* и *Метод/средство исследования*, описывающий их фрагмент выделен в отдельную онтологию. Эта онтология строится на основе базовой онтологии задач и методов.

Понятия базовых онтологий были конкретизированы для ОЗ ИНИР ППР. *Объектом исследования* рассматриваемой ОЗ являются *ПС*, а *Предметом* – *Цели и Задачи ППР*, а также аспекты принятия решений, т.е. сущности, связанные с организацией процесса принятия решений: *Этапы*, которые проходит ЛППР, принимая решения, *Альтернативы* решения ПС, *Критерии* оценки альтернатив, *Шкалы*, в которых делаются оценки, способы выражения *Предпочтений ЛППР*.

Результатами в ОЗ ППР являются методики, модели и программные продукты, которые могут применяться как непосредственно в процессе принятия решений, так и для создания других программных продуктов. Важной особенностью рассматриваемого ИНИР является предоставление доступа к методам ППР. Так, например, программные сервисы, описанные в онтологии, которые реализуют те или иные методы ППР и снабжены пользовательским интерфейсом, могут запускаться из ИНИР и использоваться для решения практических задач или ознакомления с работой методов. Web-сервисы могут использоваться программными агентами для реализации соответствующих методов ППР в каких-либо СППР.

Понятие «Раздел науки» для ОЗ ППР включает в себя смежные научные дисциплины, результаты которых используются в данной ОЗ.

Онтология научной деятельности является онтологией верхнего уровня и включает базовые понятия, относящиеся к организации научно-исследовательской деятельности, такие как *Персона*, *Организация*, *Событие*, *Деятельность*, *Публикация*, используемые для описания участников научной деятельности, мероприятий, научных программ и проектов, различного типа публикаций. На рисунке 1 они объединены в вершину «Прочее».

Во всех научных областях большую роль играет понятие *Интернет-ресурса*. *Интернет-ресурсы* могут быть связаны со всеми понятиями онтологии ОЗ. Их описание строится на основе базовой онтологии научных информационных ресурсов, включающих класс *Информационный ресурс* в качестве основного класса. Набор атрибутов и связей этого класса основан на стандарте Dublin core [6].

Онтология ППР должна быть связана с понятиями ПрО, в которых работают пользователи ИНИР ППР. Для того чтобы иметь возможность применить представленные в ИНИР методы для решения задач в конкретных ПрО, описания этих областей должны быть одинаково устроены. Это задаётся путём использования в качестве основы для построения онтологии конкретной ПрО метаонтологии ПрО, включающей такие базовые понятия, как *Объект управления*, *Идеальный объект*, *Состояние*. При специализации на определённую ПрО для

облегчения работы пользователей могут разрабатываться онтологии базового уровня, которые затем будут использоваться для построения онтологии конкретных ПрО.

Связь онтологии ППР и онтологии конкретной ПрО осуществляется путём отождествления таких сущностей, как *Объект* и *Предмет*, описанных в первой онтологии, с сущностями метаонтологии ПрО.

3 Онтология задач и методов поддержки принятия решений

Основным назначением ИНИР ППР является предоставление своим пользователям информации, систематизированной на основе онтологии ППР. Выделено несколько типов пользователей – ЛПР, инженеры знаний, программисты. Зачастую они сообща работают над решением общих задач. Каждый из них использует свою профессиональную терминологию и интересуется разными аспектами представленной на ресурсе информации. Особенно это касается понятий, связанных с разработкой и применением методов ППР. Чтобы все типы пользователей имели общую систему таких понятий, их описание было выделено в отдельную онтологию задач и методов ППР. Данная онтология имеет так называемую «вертикально-горизонтальную» структурную организацию [7], что позволяет представлять интересующие понятия в двух измерениях. Первое измерение («вертикальная структуризация») представляется в виде традиционной иерархической структуры, на каждом уровне которой понятия, представляющие интерес, описываются с разной степенью детализации. Второе измерение («горизонтальная структуризация») задаёт описание понятий с точки зрения разных типов специалистов, работающих над решением общей задачи.

В качестве общего ядра, на котором строится вертикально-горизонтальная онтология задач и методов ППР, выступает метаонтология задач и методов ППР. Такой способ двумерной структуризации области знаний с выделением общего ядра – инварианта, близок, по мнению автора, к фрактально-стратифицированному подходу, предложенному Л.В. Масель [8].

3.1 Метаонтология задач и методов ППР

Метаонтология задач и методов ППР содержит описание таких понятий, как *Задача*, *Метод*, *Вспомогательный метод*, *Модуль*, *Решатель*, *Входные данные*, *Результат*, *Ситуация*, *Проблемная ситуация*, *Альтернатива*, *Этап принятия решений*, а также отношения между ними (см. рисунок 2).

Процесс принятия решений состоит из нескольких *Этапов* [2,4,9]. На каждом этапе решаются свои задачи. *Задача* принимает *Входные данные* и вырабатывает некоторый *Результат*. Входными данными для задач являются *Ситуации*, каждая из которых представляет собой набор связанных отношениями объектов ПрО. Выделяется класс ПС, т.е. ситуаций, в которых значения атрибутов некоторых объектов выходят за область нормальных значений, либо критически близко подходят к её границам. Результатом решения задачи может быть *Сообщение*, *Ситуация* или *Задача*. *Сообщение* – это окончательный результат решения задачи, который пользователь принимает к сведению. *Ситуация* – это результат, который может быть подвергнут дальнейшему анализу. В зависимости от того, решалась ли прямая задача или обратная, ситуация может представлять собой последствия принимаемых решений или же начальные решения, которые должны привести к желаемым результатам. Если в качестве решения получено несколько ситуаций – *Альтернатив*, то может быть сгенерирована новая задача, которая будет оценивать полученные альтернативы и выбирать из них наиболее приемлемые.

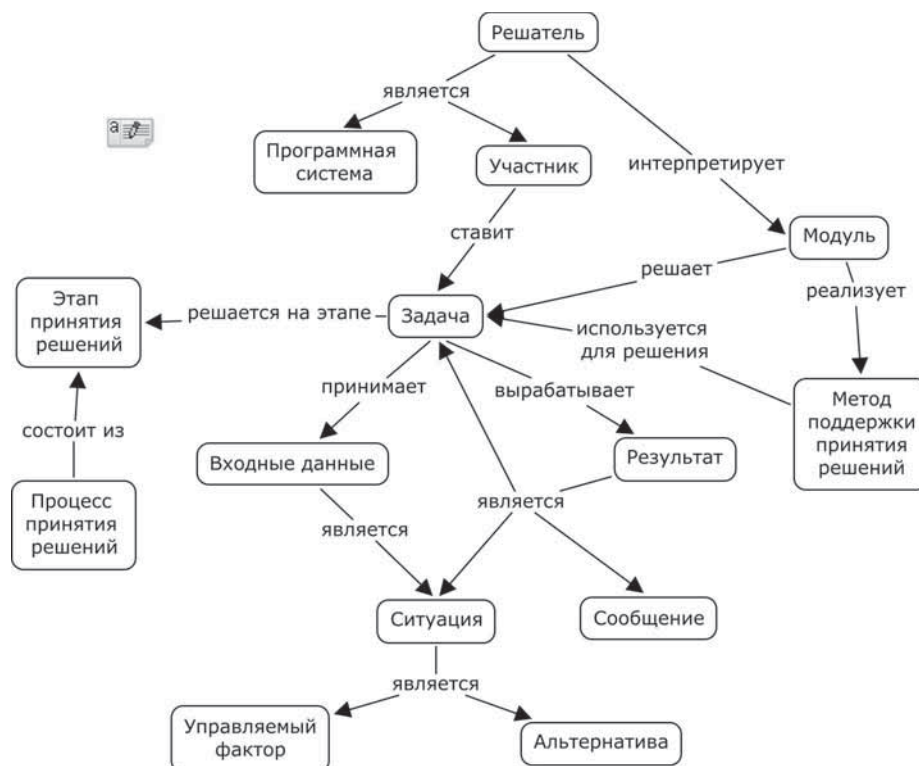


Рисунок 2 – Фрагмент метаонтологии задач и методов ППР

Для решения задач используются различные *Методы ППР*, которые, в свою очередь, могут использовать *Вспомогательные методы*. Некоторые методы могут иметь компьютерную реализацию, т.е. могут быть реализованы в некотором программном *Модуле*, который, в свою очередь, интерпретируется тем или иным *Решателем*. Другие методы не имеют программной поддержки. Реализующий их модуль представляет собой текстовое (возможно, формализованное) описание данного метода, а в качестве решателя, интерпретирующего такой модуль, выступает человек – *Участник* процесса принятия решений. Участниками могут быть ЛПР, различные *Активные группы*, *Эксперты* и *Специалисты* по принятию решений.

3.2 Классификация методов поддержки принятия решений

Основу любой онтологии составляет классификация её основных сущностей. В настоящее время не существует единой общепринятой классификации методов ППР. В литературе по теории принятия решений [2-4], как правило, систематизируются методы, применяемые на заключительных этапах принятия решений, такие, как методы оценки, кластеризации и выбора альтернатив. В работе [10], помимо традиционных для ТПР методов, описываются математические методы моделирования.

В рассматриваемой онтологии методы ППР делятся на 5 основных групп:

- методы моделирования;
- методы анализа данных;
- экспертные методы;
- методы рассуждений;
- вспомогательные методы.

На рисунке 3 показан фрагмент классификации методов ППР.

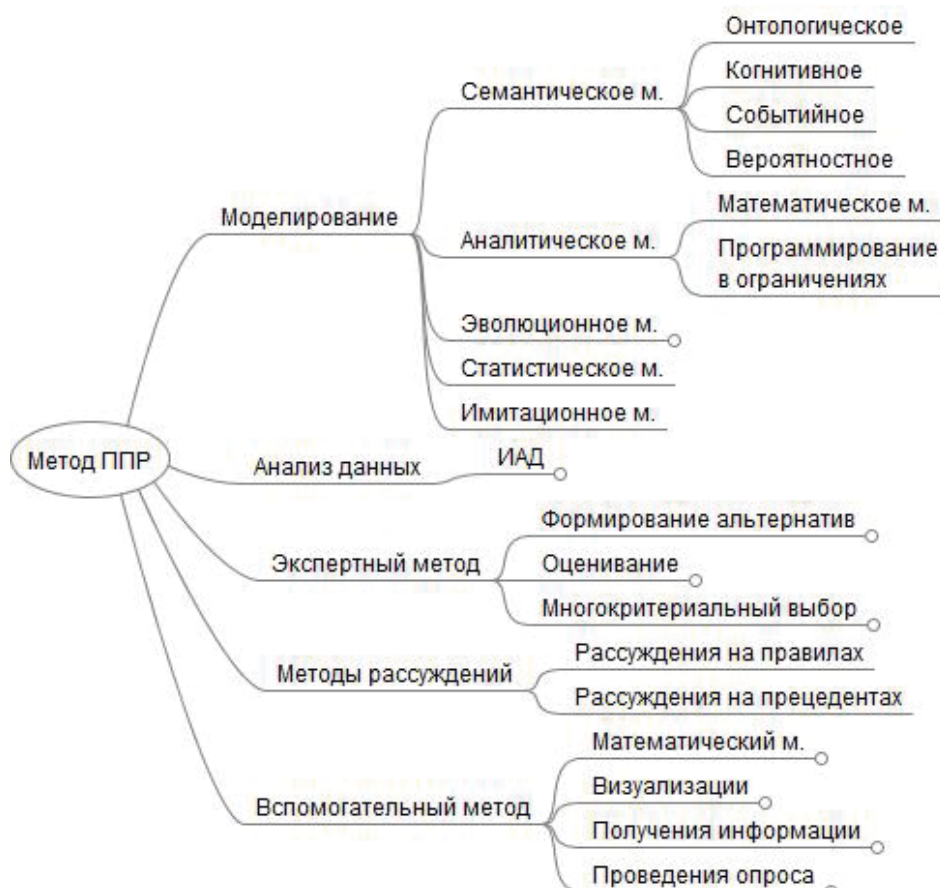


Рисунок 3 – Классификация методов поддержки принятия решений

Методы моделирования делятся на методы семантического, аналитического, эволюционного, статистического и имитационного моделирования. Эти методы позволяют построить модель ПрО, ПС, и, проанализировав её или проведя модельный эксперимент, установить суть и причины ПС, а также получить варианты её решения.

Методы семантического моделирования включают в себя четыре класса методов (рисунок 3). **Методы онтологического моделирования** предназначены для анализа ПрО и построения их онтологий [11-15]. **Методы когнитивного моделирования** используются для создания когнитивных карт, описывающих некоторые реальные ситуации [16-18]. Построение и анализ когнитивных карт позволяет установить причинно – следственные связи между факторами, описывающими ситуацию, и сделать прогноз её развития. **Методы событийного [18, 19] и вероятностного [19] моделирования** также позволяют проследить варианты развития ситуации, основываясь, соответственно, на joiner-сетях и Байесовском подходе.

Остальные методы моделирования (*аналитического, эволюционного, статистического, имитационного*) применяются, в основном, для решения структурированных задач. Однако если эти методы применяются в условиях работы Не-факторов [20], тогда они могут использоваться для решения слабоформализованных задач. Эффективными для ППР являются методы программирования в ограничениях, из которых наиболее универсальным является метод недоопределённых вычислений Нариньяни [20, 21]. Этот метод, подразумевая построение математической модели решаемой задачи, позволяет работать с неполными, неопределёнными данными.

Следующую группу методов ППР составляют **методы анализа данных**, в частности **интеллектуального анализа данных** (ИАД, Data mining) [22]. Эти методы позволяют находить

закономерности в данных, описывающих ПС, помогают анализировать ПС и находить пути её преодоления.

Экспертные методы ППР подразумевают непосредственное участие в их использовании экспертов – специалистов той ПрО, для которой ставится задача принятия решений. Эти методы можно разделить на три основные группы (рисунок 3). Методы *Формирования альтернатив* позволяют выработать варианты решения проблемы. Это, как правило, коллективные методы, среди которых хорошо известны такие, как *Мозговой штурм*, *Синектика*, метод *Сценариев* и другие. Методы *Оценивания* позволяют провести оценку альтернатив с использованием разных процедур проведения опроса экспертов и согласования их мнений. Наиболее известным методом этой группы является метод *Делфи*. Методы *Многокритериального выбора* позволяют оценить альтернативы по множеству критериев с учётом предпочтений ЛПР и последующим *Ранжированием*, *Кластеризацией* или *Выделением лучшей альтернативы*. Эти методы также бывают индивидуальными и коллективными. Среди индивидуальных методов известны такие методы, как *Дерево решений*, *Анализ иерархий*, *Вербальный анализ решений* и другие. Групповые методы многокритериального выбора включают методы *Голосования* и *Согласования* [2-4,10].

Методы рассуждений позволяют имитировать мыслительную деятельность эксперта при анализе ПС и поиске путей её разрешения. В тех случаях, когда в ПрО накоплено большое количество данных за большой период исследования, и ситуации повторяются, целесообразно применять метод рассуждений на основе *Прецедентов* (Case-base reasoning, CBR) [23]. Это метод позволяет найти в базе фактов прецедент, близкий к текущей ситуации и, проанализировав действия, которые применялись к похожему прецеденту, и их результаты, выбрать пути решения текущей проблемы. В случае, когда в ПрО имеются эксперты, способные и готовые передать и формализовать свои знания в виде продукционных правил, эффективным может оказаться метод рассуждений на основе *Экспертных правил* [24].

Вспомогательные методы, как правило, разрабатываются в рамках других научных дисциплин. *Математические методы* применяются для обработки числовых параметров решаемой задачи или сведённых к числовым параметрам качественных оценок. Это различные методы свёртки, нормирования, вычисления расстояния в многомерном пространстве, поиска оптимума целевой функции. *Визуальные методы* могут использоваться всеми методами для наглядного представления результатов. *Методы получения информации* очень важны на начальных этапах работы над решением задачи. К ним относятся методы работы с разными источниками знаний – экспертами и специальной литературой [11]. *Методы проведения опроса*, напротив, применяются на заключительных стадиях процесса принятия решений, когда альтернативы сформированы, критерии установлены и нужно организовать сбор мнений экспертов.

3.3 Этапы и задачи поддержки принятия решений

Процесс принятия решений является сложным и состоит из нескольких этапов. Г. Саймон выделял 3 этапа принятия решений: *Поиск информации*, *Поиск и формирование альтернатив*, *Выбор альтернативы* [25].

В настоящее время принято рассматривать этот процесс с большей степенью детализации. На рисунке 4 показаны основные этапы принятия решений, выделяемые многими исследователями, работающими в области принятия решений [4,5,11,12].



Рисунок 4 – Этапы принятия решений

Более детальное рассмотрение процесса принятия решений связано с возрастающей потребностью формализовать и структурировать задачи его начальных этапов. Решение задач этих этапов осуществляется, во многом, благодаря навыкам и умениям консультанта по принятию решений и ЛПР, является «узким местом» процесса принятия решений и нуждается в методологической поддержке.

Задача ППР, наряду с методом ППР, является ключевым понятием рассматриваемой ОЗ. Эти понятия тесно связаны между собой. От вида решаемой задачи зависит класс методов, который может быть применен для ее решения. В качестве примера на рисунке 5 показаны основания классификации задач ППР, предложенные в работе [2].

Задача, возникающая в ПрО, как правило, сложна и в процессе решения декомпозируется на подзадачи в соответствии с этапом, на котором она возникла. Наиболее естественной и практически полезной представляется классификация задач на основе этапов принятия решений.

3.4 Связь этапов, задач и методов поддержки принятия решения

3.4.1 Выявление проблемной ситуации и диагностика

На этом этапе решается задача *Анализа текущей ситуации* с целью обнаружения признаков некоторой ПС. В качестве таких признаков, например, могут служить отклонения значений параметров объектов от нормальных значений. Для решения этой задачи используются следующие методы (см. рисунок 6): *ИАД*, *Моделирование*, *Методы рассуждений* на основе экспертных правил или прецедентов.

Для того чтобы качественно решить задачу анализа, необходимо провести *Структуризацию ПрО*, т.е. построить её модель. В слабоструктурированных областях широко используются методы *Семантического моделирования*.

После того, как ПС выявлена, необходимо установить причины, которые привели к её возникновению (поставить диагноз). Для решения задач *Диагностики* применяются методы *Рассуждений* и *ИАД*.

3.4.2 Постановка цели и анализ факторов

Важным этапом принятия решений является *Постановка цели* (рисунок 7). Цель должна быть сформулирована так, чтобы её достижение полностью решало возникшую проблему. Однако полное решение проблемы может потребовать принятия многих решений. Если в результате диагностики ПС было установлено несколько причин, то каждая из них порождает самостоятельную подпроблему, для решения которой необходимо сформулировать соответствующую подцель. Тогда общая цель распадается на подцели. Каждая подпроблема, в свою очередь, также может иметь несколько причин. Поэтому соответствующие подцели разделяются на ещё более конкретные и частные цели, достижение которых решает «вышестоя-

щую» проблему. Этот процесс называется *Построением дерева целей* и продолжается до тех пор, пока не дойдет до первопричин решаемой проблемы [9].

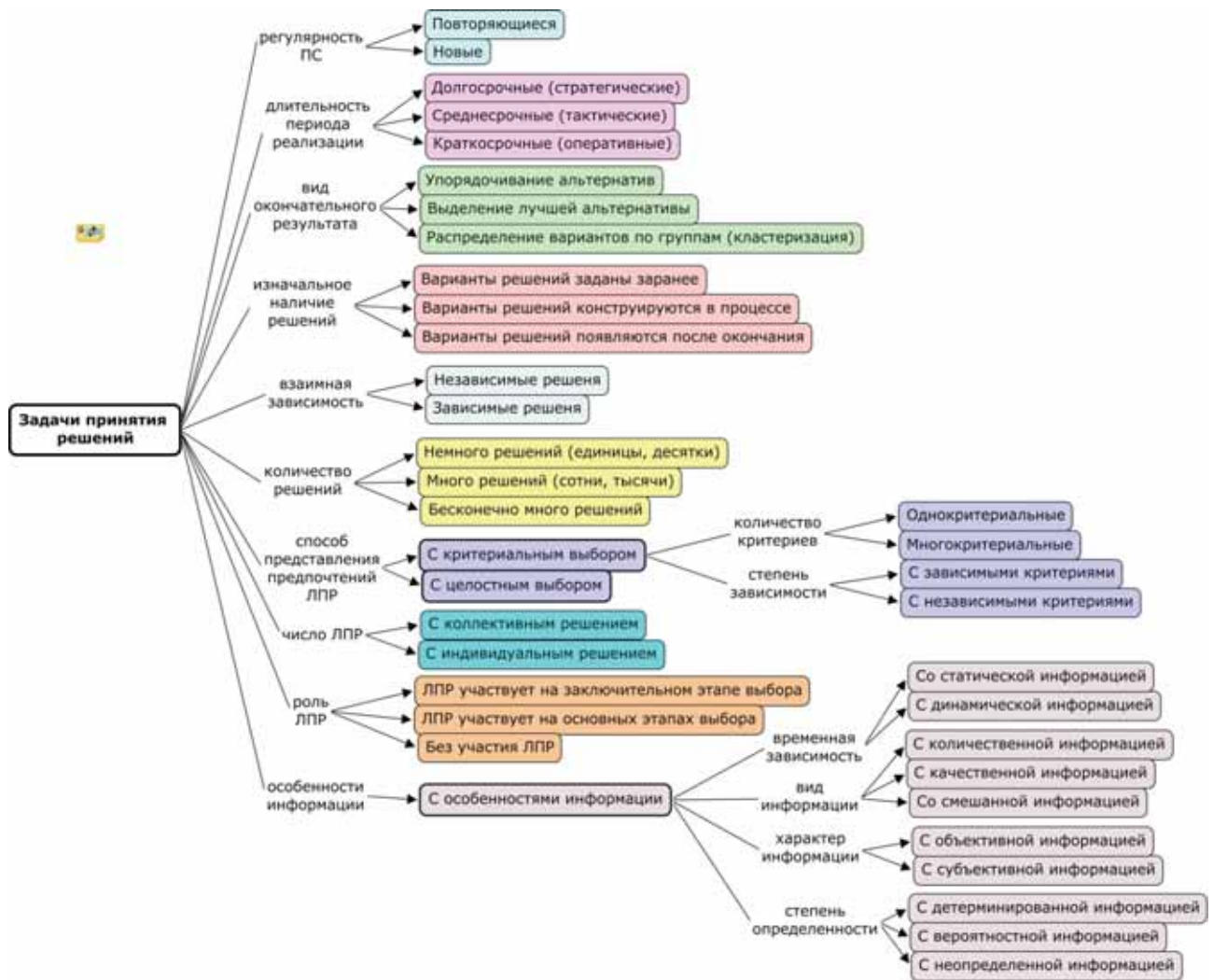


Рисунок 5 – Основания классификации задач ППР

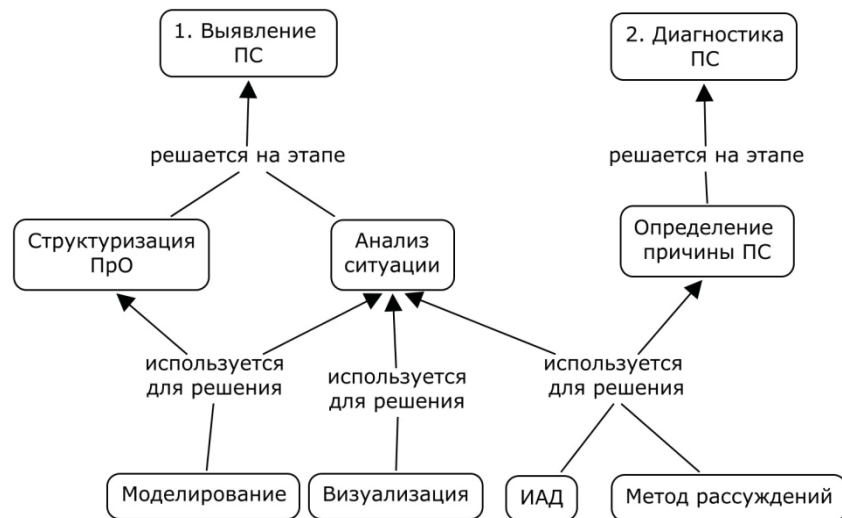


Рисунок 6 – Этапы Выявление и Диагностика ПС



Рисунок 7 – Этапы Постановка цели и Анализ факторов

Для осознания преследуемых целей может быть использовано *Построение иерархий* по Саати [26]¹.

Прежде чем приступить к непосредственному разрешению ПС, необходимо всесторонне проанализировать и учесть факторы, которые могут повлиять на решение. На этом этапе ставятся задачи *Анализа личностных факторов* и *Анализа ситуации* (рисунок 7). Решение первой задачи направлено на выявление психических состояний и индивидуальных свойств личности ЛПР с целью лучшего понимания его особенностей и состояния, которые могут помешать при принятии важных решений. Для решения этой задачи используются *Методы психодиагностики*.

Задача *Анализа ситуации* призвана выявить и учесть факторы, которые будут оказывать воздействие на результат принятия решений. Так, например, если у пациента имеются сопутствующие заболевания, то для лечения основного заболевания ему не может быть назначено лечение, противопоказанное при сопутствующем заболевании. Для решения данной задачи используются методы *Моделирования* и, в частности, построение *Когнитивных карт*.

3.4.3 Разработка альтернатив

После выявления причин возникновения ПС и постановки цели решаются задачи выработки *Альтернатив* её решения (рисунок 8).

Реализация *Альтернативы* должна решить возникшую проблему. Для выработки альтернатив применяются как компьютерные, так и коммуникативные методы:

- рассуждений;
- анализа иерархий;
- анализа когнитивных карт;
- моделирования;
- экспертные (мозговой штурм, метод сценариев).

¹ Обращаем внимание наших читателей на статью профессора С.А. Пиявского «Как «нумеризовать» понятие «важнейшее»», опубликованную в этом номере журнала. В ней предложена модификация широко известного метода анализа иерархий Т. Саати, повышающая обоснованность и простоту использования этого метода.

3.4.4 Оценивание и выбор альтернатив

На данном этапе решаются задачи *Оценивания* и *Выбора* альтернатив (рисунок 9). Для альтернатив выбирается набор *Критериев*, по которым альтернативы будут оцениваться, а также *Шкала*, в которой будет проводиться оценка. Для её решения используются методы *Экспертных оценок* и методы *Моделирования*.



Рисунок 8 – Этап Разработка альтернатив

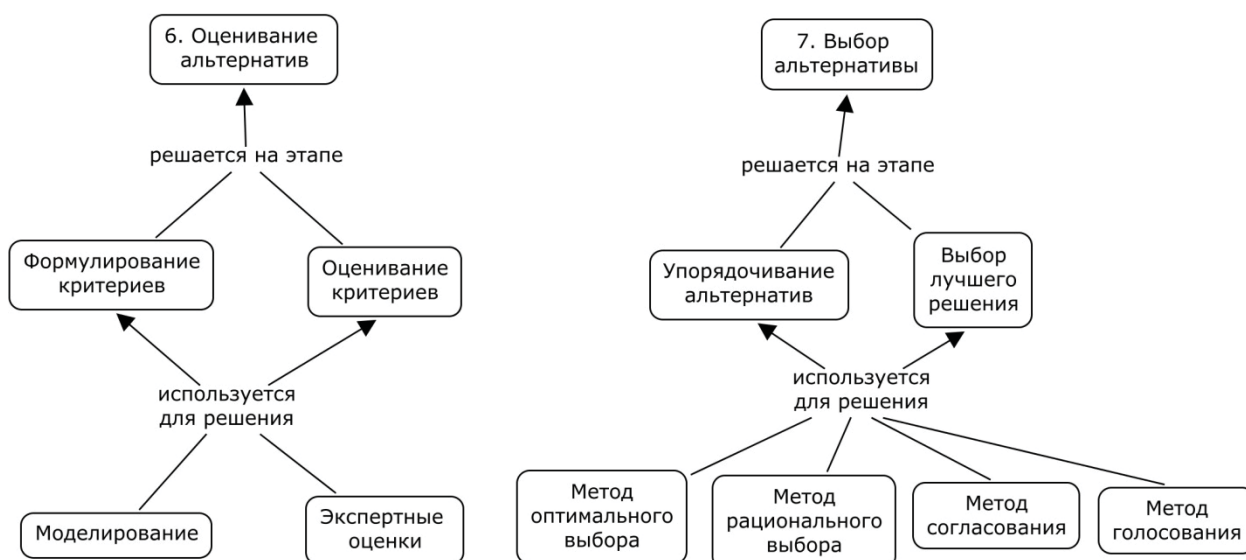


Рисунок 9 – Этапы Оценивание и Выбор альтернатив

Если для задачи задана аналитическая модель, то проводится объективное оценивание альтернатив с использованием *Методов оптимизации*. В других случаях для оценивания альтернатив используются различные экспертные методы.

На этапе *Выбора альтернативы* решаются задачи *Упорядочивания* или *Определения лучшей* с точки зрения ЛПР альтернативы.

Если для оценки альтернатив привлекались эксперты, то для выбора окончательного решения применяются различные *Экспертные методы*.

Заключение

Представленная онтология является основой ИНИР ППР и служит для формализации и систематизации различных видов знаний, данных и средств обработки и анализа информации, интегрируемых в информационное пространство ИНИР, и для организации удобного содержательного доступа к ним.

Описываемая онтология ОЗ является расширением классической ТПР, которая, в основном, фокусируется на задачах, возникающих на заключительных этапах процесса принятия решений – оценивания и выбора альтернатив. Разработка данной онтологии является попыткой систематизировать знания, относящиеся также и к начальным этапам процесса принятия решений, создать основу для поддержки экспертов и ЛПР на этих этапах, задачи которых считались неформализуемыми и творческими.

Подчёркивается особая роль в рассматриваемой области знаний таких понятий, как *Задача* и *Метод ППР*, их взаимосвязь с этапами процесса принятия решений. Онтология ППР, помимо основных понятий, представляющих данную научную область, содержит также понятия, описывающие программные разработки и Интернет-ресурсы, созданные в рамках этой области, а также осуществляемую в ней деятельность.

При создании онтологии была использована методология разработки онтологий для ИНИР [1], согласно которой онтология строится на основе небольшого набора базовых онтологий путём дополнения и конкретизации содержащихся в них понятий. Технология, с помощью которой разрабатывается ИНИР ППР, использует средства Semantic Web. Онтология, представленная в OWL-формате, играет роль спецификации структуры данных ИНИР, размещенных в RDF-хранилище. Для разработки онтологии ППР использовались средства графических редакторов СMap [27] и FreeMind [28] и редактора онтологий Protégé [29].

Благодарности

Статья подготовлена по итогам исследования, проведённого в рамках проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 16-07-00569 и проекта программы Президиума РАН № 15/10.

Список источников

- [1] *Загорулько, Ю.А.* Технология создания тематических интеллектуальных научных Интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии / Ю.А. Загорулько, Г.Б. Загорулько, О.И. Боровикова // Программная инженерия, 2016, Т. 7, № 2. – С. 51-60.
- [2] *Петровский, А.Б.* Теория принятия решений / А.Б. Петровский. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.
- [3] *Афоничкин, А. И.* Управленческие решения в экономических системах / А. И. Афоничкин, Д.Г. Михаленко // Учебник для вузов. — СПб.: Питер, 2009. — 480 с.
- [4] *Ларичев, О. И.* Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в Волшебных странах / О.И. Ларичев // Учебник. - М.: Логос, 2000. - 296 с.
- [5] *Ларичев, О. И.* Наука и искусство принятия решений / О. И. Ларичев. – М.: Наука, 1979. – 200 с.
- [6] *Hillmann, D.* Using Dublin Core. / D. Hillmann // – <http://dublincore.org/documents/usageguide/> (дата обращения 30.10.2016).
- [7] *Загорулько, Г.Б.* Подход к разработке онтологии задач и методов поддержки принятия решений / Г.Б. Загорулько, Ю.А. Загорулько // Труды 13-й национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. -Т.2. -С.185-192.
- [8] *Массель, Л.В.* Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения / Л.В. Массель // Онтология проектирования. – 2016. –Т. 6, №2 (20). – С. 149-161. – DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-149-161.

- [9] **Кулагин, О.А.** Принятие решений в организациях / О.А. Кулагин. – СПб.: Издательский дом «Сентябрь», 2001.
- [10] **Орлов, А.И.** Эконометрика / А.И. Орлов. – М.: Изд-во "Экзамен", 2002.–576 с.
- [11] **Гаврилова, Т.А.** Интеллектуальные технологии в менеджменте / Т. А. Гаврилова, Д. И. Муромцев. – Издательство: Высшая школа менеджмента, 2008 г. - 488 с.
- [12] **Массель, Л.В.** Применение онтологий в исследованиях и поддержке принятия решений в энергетике / Л.В. Массель, Т.Н. Ворожцова, А.Н. Копайгородский, Н.Н. Макагонова, С.К. Скрипкин // Информационные и математические технологии в науке и управлении // Всероссийская конференция «Знания-Онтология-Теория (ЗОНТ-13)»: труды. – Новосибирск: ИМ СО РАН. Т. 2. - С. 29-38.
- [13] **Копайгородский, А.Н.** Применение онтологий в семантических информационных системах / А.Н. Копайгородский. // Онтология проектирования. – 2014. – №4(14). – С.78-89.
- [14] **Боргест, Н.М.** Онтологии: современное состояние, краткий обзор / Н.М. Боргест, М.Д. Коровин // Онтология проектирования. – 2013. – №2(8). – С. 49-55.
- [15] **Смирнов, С.В.** Онтологическое моделирование в ситуационном управлении / С.В. Смирнов // Онтология проектирования, 2012. № 2 (4). - С. 16-24.
- [16] **Кулинич, А.А.** Семиотические когнитивные карты. Ч. 1. Когнитивный и семиотический подходы в информатике и управлении / А.А. Кулинич // Проблемы управления, 1 (2016), – С.2–10.
- [17] **Кулинич, А.А.** Семиотические когнитивные карты. Ч. 2. Основные определения и алгоритмы / А.А. Кулинич // Проблемы управления, 2 (2016), – С.24–40.
- [18] **Массель, Л.В.** Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования / Л.В. Массель, А.Г. Массель //Материалы III международной научно-технической конференции «OSTIS-2013». – Беларусь, Минск: БГУИР, 2013. – С. 247-250.
- [19] **Массель, Л.В.** Применение байесовских сетей доверия для интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности / Л.В. Массель, Е.В. Пяткова // Вестник ИрГТУ.№2. 2012. - С. 8-13.
- [20] **Нариньяни, А.С.** НЕ-ФАКТОРЫ: неточность и недоопределённость - различие и взаимосвязь / А.С. Нариньяни // Изв. РАН, Теория и системы управления. - 2000.- N.5. - С.44-56.
- [21] **Загоруйко, Г.Б.** Метод недоопределённых вычислений как средство поддержки принятия решений в слабоформализованных предметных областях / Г.Б. Загоруйко, В.А. Сидоров // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2016. № 4-1. - С. 27-36.
- [22] **Загоруйко, Н.Г.** Когнитивный анализ данных / Н.Г. Загоруйко. – Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО», 2012 г. – 186 с.
- [23] **Варшавский, П.Р.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений, № 2, 2009. - С. 45-57.
- [24] **Загоруйко, Ю.А.** Онтологический подход к разработке системы поддержки принятия решений на нефтегазодобывающем предприятии / Ю.А. Загоруйко, Г.Б. Загоруйко // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2012. Том.10, выпуск 1. – С. 121-128.
- [25] **Simon, H.A.** The New Science of Management Decision / H.A. Simon – N. Y.: Harper and Row Publishers, 1960.
- [26] **Саати, Т.Л.** Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати – М.: Радио и связь, 1993.– 278 с.
- [27] IHMC StarTool – свободно распространяемый инструментарий для построения концептуальных карт знаний – <http://star.ihmc.us/> (дата обращения: 22.11.2016).
- [28] FreeMind – свободно распространяемое программное обеспечение для построения интеллект-карт – http://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php?Main_Page (дата обращения: 22.11.2016).
- [29] Protégé. Свободный редактор онтологий с открытым исходным кодом и фреймворк для построения интеллектуальных систем – <http://protege.stanford.edu/> (дата обращения: 14.11.2016).
-

DEVELOPMENT OF ONTOLOGY FOR INTELLIGENT SCIENTIFIC INTERNET RESOURCE DECISION-MAKING SUPPORT IN WEAKLY FORMALIZED DOMAINS

G.B. Zagorulko

*A.P. Ershov Institute of Informatics Systems Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia
gal@iis.nsk.su*

Abstract

The paper presents the ontology of knowledge area "Decision-making support in weakly formalized domains". The questions connected with a context of intended use of the ontology are considered. This ontology is developed as conceptual base of an intelligent scientific Internet resource which contains the systematized information on this knowledge area, provides content-based access to the information, methods of its processing, and also to methods of the solution of typical tasks. The paper shows that the knowledge area described by the ontology is extension of the classical theory of decision making which focuses its researches substantially on the questions relating to forming, estimation and the choice of versions of the solution of problem situations, i.e. the final stages of decision making. In compliance with this fact the presented ontology describes along with concepts of the classical theory of decision making the methods and facilities obtained in allied branch of science which can be successfully applied in decision making process, including its initial stages. The ontology contains also the concepts allowing to describe the software tools and Internet resources created in the considered area as well as the activities performed in it.

Key words: *ontology, scientific Internet resource, decision-making support, weakly formalized domain.*

Citation: *Zagorulko GB. Development of ontology for intelligent scientific internet resource decision-making support in weakly formalized domains. Ontology of designing. 2016; 6(4): 485-500. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-4-485-500.*

Acknowledgment

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research № 16-07-00569 and programs of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, number 15/10.

References

- [1] *Zagorulko YuA, Zagorulko GB, Borovikova OI.* Technology for building subject-based intelligent scientific internet resources based on ontology [In Russian]. *Software Engineering*, 2016, V.7 № 2: 51-60.
- [2] *Petrovskij AB.* The theory of decision-making. [In Russian]. – M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2009. – 400 p.
- [3] *Afonichkin AI, Mihalenko DG.* Upravlencheskie reshenija v jekonomicheskikh sistemah [In Russian]. Textbook. — SPb.: Piter, 2009. — 480 p.
- [4] *Larichev OI.* Teorija i metody prinjatija reshenij, a Takzhe Hronika sobytij v Volshebnyh Stranah [In Russian]. Textbook. - M.: Logos, 2000. –296 p.
- [5] *Larichev OI.* Nauka i iskusstvo prinjatija reshenij [In Russian]/ – M.: Nauka, 1979. – 200 p.
- [6] *Hillmann D.* Using Dublin Core — <http://dublincore.org/documents/usageguide/> (last visited 30.10.2016).
- [7] *Zagorulko GB, Zagorulko YuA.* Approach to building the task and decision support methods ontology [In Russian]. Proc. of the XIII Russian national conference on artificial intelligence with the international participation CAI-2012 (Belgorod: BSTU, 2012) -V.2: 185-192
- [8] *Massel' LV.* Fractal approach to knowledge structuring and examples of its application [In Russian]. *Ontology of designing*, 2016; v.6, 2(20): 149-161. - DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-149-161.
- [9] *Kulagin OA.* Prinjatie reshenij v organizacijah [In Russian]. – SPb.: Izdatel'skij dom «Sentjabr», 2001.
- [10] *Orlov AI.* Jekonometrika [In Russian]. Textbook. - M.: Izd-vo "Jekzamen", 2002. – 278 p.
- [11] *Gavrilova TA, Muromcev DI.* Intellektual'nye tehnologii v menedzhmente [In Russian]. – Izdatel'stvo: Vysshaja shkola menedzhmenta, 2008. –488 p.
- [12] *Massel' LV, Vorozhцова TN, Kopygorodsky AN, Makagonova NN, Skripkin SK.* The application of ontologies in research and decision support in the energy sector [In Russian]. Proc. of Russian Conference "Knowledge-Ontology-Theory (KONT-13)": Novosibirsk. Mathematics Institute of SB RAS. V. 2: 29-38.

- [13] **Kopaygorodsky AN.** Use of ontologies in semantic information systems [In Russian]. *Ontology of designing*. – 2014. – №4 (14): 78-89.
- [14] **Borgest NM, Korovin MD.** Ontologies: current state, short review [In Russian]. *Ontology of designing*. – 2013. – №2(8): 49-55.
- [15] **Smirnov SV.** Ontological modeling in situational management [In Russian]. *Ontology of designing*. – 2012. – №2(4): 16-24
- [16] **Kulinich AA.** Semiotic cognitive maps. Part 1. Cognitive and semiotic approaches in informatics and control sciences [In Russian]. *Control sciences*, 1 (2016): 2–10.
- [17] **Kulinich AA.** Semiotic cognitive maps. Part 2. The basic definitions and algorithms [In Russian]. *Control sciences*, 2 (2016): 24–40.
- [18] **Massel' LV, Massel' AG.** Semantic technologies based on the integration of the ontological, cognitive and event modeling [In Russian]. *Proc. III International Scientific Conference OSTIS-2013, Minsk. BGUIR, 2013: 247-250.*
- [19] **Massel' LV, Pjatkova EV.** Application of Bayesian belief networks to intelligent support in research of energy security problems [In Russian]. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 2012; №2: 8-13.
- [20] **Narin'jani AS.** NE-FAKTORY: Netochnost' i Nedoopredelennost' - razlichie i vzaimosvjaz' [In Russian]. *Izv. RAN, Teor. i sist. upr.* - 2000. - N.5: 44-56.
- [21] **Zagorulko GB, Sidorov VA.** The method of subdefinite calculations as a mean of decision support in weakly-formalized domains [In Russian]. *Information and mathematical technologies in science and management. Irkutsk: MESI SB RAS. 2016. № 4-1: 27-36.*
- [22] **Zagorujko NG.** Kognitivnyj analiz dannyh [In Russian]. – Novosibirsk: Akademicheskoe izd-vo «GEO», 2012. – 186 p.
- [23] **Varshavskij PR, Ereemeev AP.** Modelirovanie rassuzhdenij na osnove precedentov v intellektual'nyh sistemah podderzhki prinjatija reshenij [In Russian]. *Iskusstvennyj intellekt i prinjatje reshenij*, 2009, № 2: 45-57.
- [24] **Zagorulko YuA, Zagorulko GB.** Ontological approach to development of the decision support system for oil-and-gas production enterprise [In Russian]. *Novosibirsk State University Journal of Information Technologies*, 2012; V 10(1): 121-128.
- [25] **Simon HA.** *The New Science of Management Decision* – N. Y.: Harper and Row Publishers, 1960.
- [26] **Saati TL.** Making decisions. The Analytic Hierarchy Process [In Russian]. – M.: Radio i svjaz', 1993. – 278 p.
- [27] IHMC CmapTools. – <http://cmap.ihmc.us/> (last visited: 22.11.2016).
- [28] FreeMind – free mind mapping software – http://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page (last visited: 22.11.2016).
- [29] Protégé. A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems – <http://protege.stanford.edu/> (last visited 14.11.2016).

Сведения об авторах



Загорулько Галина Борисовна, 1963 г. рождения. Окончила Новосибирский государственный университет в 1985 г. Научный сотрудник Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, старший преподаватель кафедры программирования Новосибирского государственного университета. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта. В списке научных трудов более 70 публикаций в области искусственного интеллекта, разработки интеллектуальных систем, инженерии знаний, онтологического моделирования, поддержки принятия решений.

Zagorulko Galina Borisovna (b.1963) graduated from the Novocherkassk State University in 1985. She is researcher at A.P. Ershov Institute of Siberian Branch of Informatics Systems of Russian Academy of Science (Novosibirsk city), senior lecturer at Novosibirsk State University (Department of Mechanics and Mathematics), He is member of Russian Association of Artificial Intelligence. She is author of more than 70 publications in the field of AI, intelligent system development, knowledge engineering, ontological modeling and decision-making support.