

УДК 004.822

ОНТОЛОГИЯ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ»

В.З. Ямпольский, И.А. Заикин

Томский политехнический университет
E-mail: zaikin@tpu.ru

Для целостного представления об относительно сложном объекте, новом и потому ещё не устоявшемся понятии «интеллектуальное месторождение», а также для выявления состава основных компонент и отношений между ними имеет смысл построить онтологию этого понятия. В статье предложена онтология объекта «интеллектуальное месторождение» на основе его декомпозиции по составу объектов разработки, геологических свойств месторождения, основных направлений мониторинга, составу моделей разработки и программных систем, поставляемых ведущими мировыми производителями. Показаны фрагменты записи онтологии на языке OWL 2 с использованием Манчестерского синтаксиса. Приведён пример использования онтологии в системе поддержки принятия решений. Предложенная онтология может применяться при реализации проектов, связанных с описанием и разработкой «интеллектуального месторождения» и мониторингом реализуемых технологических процессов.

Ключевые слова:

Онтология, OWL 2, интеллектуальное месторождение, геологические свойства, геологическая модель.

Введение

Для целостного представления об относительно сложном объекте, новом и потому ещё не устоявшемся понятии «интеллектуальное месторождение», а также для выявления состава основных компонент, связей и отношений между ними, имеет смысл построить онтологию (онтологическую модель) этого понятия [1].

Чаще всего онтология некоторого сложного понятия (объекта) представляет собой иерархическую структуру, для построения которой последовательно применяется метод декомпозиции, когда объект или понятие i -го уровня разбивается на составные части, элементы (компоненты) уровня $i+1$, и так далее.

Для такого рода разбиений (декомпозиции) необходимы некоторые основания. Если эти основания носят объективный характер, то полученная с их помощью декомпозиция именуется системной, в противном случае – эвристической.

Источником оснований декомпозиции могут служить простейшие модели систем: модель чёрного ящика (состав входов и выходов), модель состава исследуемого объекта или системы, модель этапов жизненного цикла деятельности и др. Применительно к анализируемому понятию (системе) «интеллектуальное месторождение» в качестве оснований декомпозиции предпочтительным является применение моделей состава исследуемого объекта, состава его свойств, перечня моделей, программных комплексов и др.

Построение онтологии

Приведём перечень оснований декомпозиции исследуемого объекта для построения онтологии «Интеллектуальное месторождение».

Если в качестве оснований декомпозиции принять состав типовых компонент разрабатываемого геологического объекта, то объектами описания будут: месторождение, участок (часть месторождения), куст скважин, скважина.

Соответственно, в онтологии может иметь место: интеллектуальное месторождение, интеллектуальный участок месторождения, интеллектуальный куст скважин, интеллектуальная скважина.

Важнейшей функцией системы управления интеллектуальным месторождением является мониторинг процесса разработки. Цель мониторинга – контроль изменения основных свойств месторождения и отдельных его участков в процессе разработки. К числу основных контролируемых геологических свойств месторождения и его компонент относятся [2]: напряжённость пласта, пьезопроводность, гидропроводность, проницаемость, нефтенасыщенность, водонасыщенность.

Заметим, что мониторингу, как важнейшей функции наблюдения за ходом разработки нефтегазовых месторождений и её контроля, могут быть подвержены не только вышеперечисленные геологические свойства месторождений, но и используемое нефтепромысловое оборудование. В таком случае в интеллектуальном месторождении может иметь место декомпозиция функции мониторинга по оборудованию: месторождения, промысла (участка), куста скважин, скважины (электроцентробежные насосы, штанговые глубинные насосы и др.)

Существенно различаются задачи моделирования нефтегазовых месторождений и их частей в зависимости от целей исследований и контроля. Наиболее распространёнными целями и направлениями являются: петрофизическое, геологическое, геофизическое и гидродинамическое моделирование.

В эффективном управлении разработкой нефтегазовых месторождений особое место принадлежит ПДГТМ – постоянно действующим геолого-технологическим моделям, разрабатываемым проектно-технологическими институтами нефтегазовой отрасли и постоянно адаптируемым в процессе разработки по отношению к реальному состоянию разработки месторождения. Как правило, это ци-



Рис. 1. Структура онтологии «Интеллектуальное месторождение»

фровые 3D-модели, опирающиеся на актуальную комплексную базу данных месторождения. С учётом изложенного, основными компонентами обеспечения функционирования ПДГТМ являются: комплексная база данных «Месторождение», трёхмерные геологические модели, трёхмерные гидродинамические модели.

Известно, что подавляющее большинство современных исследований геологических объектов на всех этапах жизненного цикла месторождения осуществляется с помощью информационных и компьютерных технологий. Основу базового программного обеспечения для перечисленных выше направлений контроля параметров, моделирования, анализа и оптимизации процесса разработки нефтегазовых месторождений составляют следующие программные комплексы: ECLIPSE, Petrel, GP-Storage, MapInfo Professional, Landmark, Tempest.

Применительно к системе «Интеллектуальное месторождение» (ИМ) особое значение приобретают комплексные модели. К ним можно отнести: систему мониторинга ИМ, систему управления данными ИМ, систему планирования и оценки эффективности геолого-технических мероприятий (ГТМ), систему адаптивного управления ИМ.

Состав перечисленных выше объектов разработки, геологических свойств месторождения, основных направлений мониторинга, моделей разработки и программных систем, поставляемых веду-

щими мировыми вендорами для анализа, управления и оптимизации разработки нефтегазовых месторождений, и составляет основу онтологии интеллектуального месторождения, структура которой приведена на рис. 1, где также использованы следующие обозначения: УПСВ – установка предварительного сброса воды; ДНС – дожимная насосная станция; БКНС – блочно-компрессорная насосная станция.

Рассмотрим подробнее объекты мониторинга. Под объектом мониторинга в данной онтологии понимается месторождение, пласт, скважина или куст скважин (рис. 2).

Месторождения делятся по типу добываемого углеводородного сырья на нефтяные, нефтегазовые и газовые (рис. 3).

Ниже приведён фрагмент записи онтологии на языке OWL 2 в Манчестерском синтаксисе [3], описывающий иерархию, показанную на рис. 3.

```
Class: Field
Annotations:
  label «Месторождение»@ru,
  label «Field»@en
Class: GasField
Annotations:
  label «Месторождение природного газа»@ru,
  comment «Совокупность залежей природного газа и газоконденсата на определённой территории.»@ru
SubClassOf: Field
```



Рис. 2. Виды объектов мониторинга

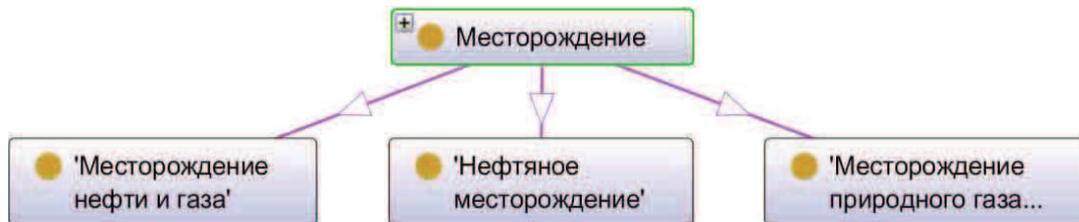


Рис. 3. Фрагмент классификации месторождений

DisjointWith: OilField, OilAndGasField
 Class: OilField
 Annotations:
 comment «Совокупность залежей нефти на определённой территории.»@ru,
 label «Нефтяное месторождение»@ru
 SubClassOf: Field

DisjointWith: GasField, OilAndGasField
 Class: OilAndGasField
 Annotations:
 comment «Скопление углеводородов (нефти, газа и газоконденсата) в одной или нескольких залежах, связанных территориально, общностью геологического строения и нефтегазоносности.»@ru,
 label «Месторождение нефти и газа»@ru
 SubClassOf: Field

DisjointWith: OilField, GasField
 Составной частью нефтяного промысла является скважина. Скважина – цилиндрическая горная выработка пространственной ориентации, диаметр которой существенно меньше её длины, предназначенная для обеспечения сообщения продуктивного горизонта с земной поверхностью. По своему назначению скважины подразделяются на несколько видов, из которых основными являются [4]: разведочные; добывающие (нефть, газ, вода); нагнетательные (вода, газ, пар, воздух и т. д.); контрольные (пьезометрические); оценочные. Добывающие и нагнетательные скважины составляют так называемый эксплуатационный фонд или эксплуатационные скважины. На рис. 4 показана иерархия скважин.

Ниже приведён фрагмент записи онтологии на языке OWL в Манчестерском синтаксисе, описывающий иерархию, показанную на рис. 4.

```

Class: Well
Annotations:
  rdfs: label «Скважина»@ru,
  rdfs: label «Well»@en
    
```

```

Class: ExploratoryWell
Annotations:
  rdfs: label «Pioneer well»@en,
  rdfs: label «Разведочная скважина»@ru,
  rdfs: label «Exploratory well»@en
SubClassOf:
  Well
    
```

```

Class: ProductionWell
Annotations:
  rdfs: label «Эксплуатационная скважина»@ru,
  rdfs: label «Production well»@en,
  rdfs: label «Field well»@en
SubClassOf:
  Well
    
```

```

Class: ProducerWell
Annotations:
  rdfs: label «Producer well»@en,
  rdfs: label «Добывающая скважина»@ru
SubClassOf:
  ProductionWell
    
```

```

Class: PressureWell
Annotations:
  rdfs: label «Нагнетательная скважина»@ru,
  rdfs: label «Input well»@en,
  rdfs: label «Pressure well»@en,
  rdfs: label «Intake well»@en
SubClassOf:
  ProductionWell
    
```

```

Class: DevelopmentTestWell
Annotations:
  rdfs: label «Development test well»@en,
  rdfs: label «Оценочная скважина»@ru
SubClassOf:
  Well
    
```

```

Class: ObservationWell
Annotations:
  rdfs: label «Pressure-observation well»@en,
  rdfs: label «Контрольная скважина»@ru,
  rdfs: label «Piestic well»@en,
  rdfs: label «Observation well»@en,
    
```



Рис. 4. Виды скважин

```

rdfs: label «Пьезометрическая скважина»@ru,
rdfs: label «Monitor well»@en
SubClassOf:
Well
  
```

На практике скважины чаще всего объединяются в кусты. В онтологии это записывается с помощью транзитивного свойства `isPartOf`. Принадлежность скважины или куста к месторождению

Таблица. Свойства пластов и насыщающих флюидов

Название свойства	Описание
intensity	Напряжённость
permeability	Проницаемость
piezoconductivity	Пьезопроводность
porosity	Пористость
sulphur_content_in_oil	Содержание серы в нефти (сернистость)
water_saturation	Водонасыщенность
WOC_datum	Абсолютная отметка ВНК
alkanes_content_in_oil	Содержание парафина в нефти
gas_content_in_oil	Газосодержание нефти
grittiness_factor	Коэффициент песчаности
initial_oil_reserves	Начальные балансовые запасы нефти
initial_recoverable_oil_reserves	Начальные извлекаемые запасы нефти
initial_reservoir_pressure	Начальное пластовое давление
initial_reservoir_temperature	Начальная пластовая температура
mean_depth	Средняя общая толщина
mean_depth_of_burial	Средняя глубина залегания
mean_oil_saturated_depth	Средняя нефтенасыщенная толщина
mean_productivity	Средняя продуктивность
initial_recoverable_oil_reserves	Начальные извлекаемые запасы нефти
mean_water_saturated_depth	Средняя водонасыщенная толщина
mean_oil_saturation_POZ	Средняя нефтенасыщенность ЧНЗ
mean_oil_saturation_WOZ	Средняя нефтенасыщенность ВНЗ
oil_and_gas_area	Площадь нефтегазоносности
oil_density_in-situ	Плотность нефти в пластовых условиях
oil_density_in_the_surface	Плотность нефти в поверхностных условиях
oil_recovery_factor	Коэффициент нефтеизвлечения
oil_viscosity_in-situ	Вязкость нефти в пластовых условиях
oil_volume_factor	Объёмный коэффициент нефти
permeability	Проницаемость
initial_recoverable_oil_reserves	Начальные извлекаемые запасы нефти
pressure_of_oil_saturation_with_gas	Давление насыщения нефти газом
ruggedness_factor	Коэффициент расчленённости
stratum_outer_radius	Радиус влияния скважины
stratum_pressure_WOC	Давление на уровне ВНК
water_compressibility	Сжимаемость воды
water_density_in-situ	Плотность воды в пластовых условиях
water_viscosity_in-situ	Вязкость воды в пластовых условиях

фиксируется с помощью того же свойства `isPartOf`:
`ObjectProperty: isPartOf`

`Annotations:`

`label «является частью»@ru`

`Characteristics: Irreflexive, Transitive`

`InverseOf: contains`

В онтологию включаются также сведения о видах пластов (рис. 5): нефтяной, водоносный и газовый пласт.



Рис. 5. Виды пластов

В таблице приведён перечень основных свойств пластов и насыщающих их флюидов на примере нефтяной залежи.

Поскольку одним из предназначений онтологии является её использование в системе поддержки принятия решений, в ней моделируются также некоторые проблемные ситуации и условия их наступления. В частности, класс «Ситуация» может быть описан следующими экземплярами: неэффективная закачка; низкий коэффициент охвата; низкое пластовое давление; отрицательная динамика пластового давления; падение пластового давления в зонах ГТМ на добывающем фонде сква-

жин. Каждая ситуация связана с месторождением через свойство `holdsAt` и с условиями её наступления. Эта связь записывается с помощью языка продукционных правил. Пример такой записи:

`Field (? f),`

`holdsAt (Low_watering,? f),`

`holdsAt (Mean_formation_pressure_is_less_than_target_one,? f),`

...

`-> holdsAt (Low_formation_pressure,? f)`

В данном правиле показаны условия «Низкая обводнённость продукции» и «Среднее пластовое давление ниже целевого».

Заключение

Разработана базовая онтология, описывающая основные компоненты «интеллектуального» месторождения и отношения между ними, дающая в совокупности целостное представление о понятии «интеллектуальное месторождение». Предложенная онтология может применяться при реализации проектов, связанных с описанием и разработкой «интеллектуального» месторождения и мониторингом реализуемых технологических процессов.

Разработка проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках финансирования работ по Государственному контракту 14.515.11.0047.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тузовский А.Ф., Чириков С.В., Ямпольский В.З. Системы управления знаниями (методы и технологии) / под общ. ред. В.З. Ямпольского. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 260 с.
2. Захарова А.А., Ямпольский В.З. 3D-моделирование нефтегазовых месторождений. – Томск: Изд-во НТЛ, 2010. – 224 с.
3. Horridge M., Patel-Schneider P.F. OWL 2 Web Ontology Language Manchester Syntax (Second Edition) // World Wide Web Con-

sortium. 2012. URL: <http://www.w3.org/TR/owl2-manchester-syntax/> (дата обращения: 01.09.2013).

4. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. – М: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. – 816 с.

Поступила 04.09.2013 г.

UDC 004.822

THE «SMART FIELD» ONTOLOGY

V.Z. Yampolskiy, I.A. Zaikin

Tomsk Polytechnic University

In order to get a holistic view of a relatively complex object, a new and thus not yet well-established concept of «smart field», as well as to identify the main components and relations between them it makes sense to create the ontology of this concept. The paper proposes the ontology of a «smart field» object based on its decomposition by mining objects, field geological properties, main monitoring areas, composition of mining models, and software systems supplied by leading international vendors. The authors show some fragments of the ontology in OWL 2 language using Manchester syntax. The paper introduces the example of using the ontology in a decision support system. The proposed ontology can be used in implementing projects related to description and development of «smart fields» and to workflow monitoring.

Key words:

Ontology, OWL 2, smart field, geological properties, geological model.

REFERENCES

1. Tuzovskiy A.F., Chirikov S.V., Yampolskiy V.Z. *Sistemy upravleniya znaniyami (metody i tekhnologii)* [Knowledge management systems]. Tomsk, NTL Publ., 2005. 260 p.
2. Zakharova A.A., Yampolskiy V.Z. *3D-modelirovanie neftegazovykh mestorozhdeniy* [3D-modelling of oil and gas fields]. Tomsk, NTL Publ., 2010. 224 p.
3. Horridge M., Patel-Schneider P.F. *OWL 2 Web Ontology Language Manchester Syntax* (Second Edition), 2012. Available at: <http://www.w3.org/TR/owl2-manchester-syntax/> (accessed 01 September 2013).
4. Mishchenko I.T. *Skvazhinnaya dobycha nefti* [Well oil production]. Moscow, Oil and gas Publ. of Russian state university of oil and gas, 2003. 816 p.

УДК 681.3:004.5:004.75

ОРГАНИЗАЦИЯ УДАЛЁННОГО УЧАСТИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА УСТАНОВКЕ ТИПА ТОКАМАК

А.А. Мезенцев, В.М. Павлов, Ю.Н. Голобоков, Д.А. Евстифеев

Томский политехнический университет
E-mail: mezentsev.anton@gmail.com

Описан программный механизм организации удалённого участия в экспериментах на исследовательской установке типа Токамак в части организации удалённого управления оборудованием, контроля его параметров состояния и диагностики. Он является альтернативой традиционно применяемому механизму для российских и зарубежных установок типа Токамак: T-10, T-15, JET, JT-60, FTU и др., основанным на таких программных комплексах, как MDS+ и ПК ИВК. Поскольку традиционные механизмы устарели и не могут применяться на новых установках типа Токамак без глубокой модернизации, задача новой разработки является актуальной. Механизм основан на применении нового унифицированного протокола взаимодействия подсистем системы автоматизации экспериментов установок типа Токамак – T-ICS. Протокол учитывает индивидуальные особенности аппаратной платформы подсистем и обеспечивает шифрование сообщений, необходимое при удалённом взаимодействии компонентов системы посредством сети Ethernet. Показаны его преимущества по сравнению с традиционными подходами, применяемыми при решении подобных задач. Реализация предложенного механизма показана на примере использования SCADA системы TRACE MODE для управления оборудованием системы автоматизации экспериментов на одной из зарубежных установок типа Токамак. Применение нового механизма совместно со SCADA позволяет значительно автоматизировать процесс разработки прикладного ПО, упрощает командный язык управления оборудованием и диагностики его состояния. В настоящее время механизм прошёл тестирование на базе макетов подсистем действующего зарубежного Токамака и полноценно применяется в составе системы управления им. Ввиду высокой перспективности разработки ведутся работы по внедрению механизма в состав системы управления модернизируемого российского Токамака T-15.

Ключевые слова:

Удалённое участие, система автоматизированного управления, САПР, TRACE MODE, протокол T-ICS.

Введение

Экспериментальные физические установки, работающие в импульсно-периодическом режиме, например, такие как Токамак, функционируют под управлением распределённых многоуровневых систем управления. В процессе проведения экспериментов на Токамаках принимает участие значительное количество инженеров и учёных, в том числе территориально располагающихся в других научных центрах вне экспериментального комплекса. В этой связи обеспечение инфраструктуры удалённого участия в экспериментах на физических установках – это направление в технике, которое в настоящее время активно развивается. Использование систем удалённого участия в процессе управления экспериментальными комплексами, на различных этапах подготовки и проведения эксперимента, описано во многих публикациях для установок DIII-D [1], LHD [2], TJ-II [3], JT-60 [4], RFX [5], JET [6] и др.

Применение механизмов удалённого участия в эксперименте дает положительный эффект при использовании в следующих областях: управление

экспериментальными данными [1–6]; управление математическими расчётами [1, 4]; управление параметрами настройки ЭВМ, диагностического и иного оборудования [3, 4, 6, 7]; управление параметрами эксперимента (в том числе в части работы подсистем) [1–3, 6]; телеконференцсвязи [1, 2, 4, 6, 7]. Для реализации этих механизмов применяются как встроенные средства из состава интегрированной программной среды управления экспериментальной установкой (например, JScope, ReviewPlus, EfitViewer), так и инструменты подключения к источнику данных (например, DAS MEX, XAccess, DAQ Access) [8–10]. Исследования [9, 10] показывают, что для организации удалённого участия в эксперименте на Токамаках широко применяются: сетевые интерфейсы, специализированные средства подключения к СУБД (библиотеки XAccess, DASAccess), различные Java- и WEB-клиенты [11] (например, DASWeb). В данной работе будут рассмотрены альтернативные механизмы организации удалённого управления оборудованием в режиме подготовки и проведения физического эксперимента.