

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 004.82:004.55

**КОЛЬ**  
Дмитрий Григорьевич

**МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ  
САЙТОВ С ПЕРЕНОСИМЫМ СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ  
КОНТЕНТОМ НА БАЗЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение  
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Минск 2012

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель

Голенков Владимир Васильевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты:

Курбацкий Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологий программирования Белорусского государственного университета

Железко Борис Александрович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой экономической информатики учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет»

Опонирующая организация

Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси»

Защита состоится 14 февраля 2013 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, e-mail: dissovet@bsuir.by тел. 293-89-89.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан « 14 » января 2013 года.

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Результаты исследований независимых аналитических агентств Gartner Group и Real Story Group за 2011–2012 гг. показывают, что одной из важнейших тенденций развития систем управления контентом (в частности, в корпоративных сайтах) является переход от сайтов с простой структурой к крупным интегрированным сайтам корпоративных знаний. Такие сайты содержат описание различных научных либо промышленных задач и информацию о методах их решения, обеспечивая при этом пользователя средствами навигационного поиска, предоставляющими возможность расширения отображаемого фрагмента контента с нужной для пользователя детализацией. Основной ценностью в указанных сайтах являются накапливаемые объёмы корпоративных знаний.

Указанная тенденция позволяет существенно повысить эффективность работы корпораций за счет повышения эффективности использования накапливаемых в сайтах корпоративных знаний. С точки зрения разработчика, сайты корпоративных знаний характеризуются сложноструктурированным контентом и требуют многолетней информационной поддержки. Под сложноструктурированным контентом в данном случае понимаются многоуровневые гипертекстовые информационные структуры, в которых имеют место связи не только между первичными элементами гипертекста, но и между связями, а также между целыми гипертекстовыми информационными структурами. В указанных информационных структурах могут использоваться различные отношения, определяющие роли элементов в различных структурах. Связи в таких информационных структурах могут быть не только бинарными, но и многоместными. Кроме этого, связи могут быть позитивными (реально существующими), негативными (реально отсутствующими) и нечеткими (предположительно существующими), стационарными во времени или нестационарными, константными или переменными. Примерами сайтов, оперирующих такой информацией, являются научные, образовательные, энциклопедические порталы, порталы проектных организаций и др.

Теоретические и технологические аспекты проблемы представления, поиска, обработки сложноструктурированного контента и разработки моделей представления такого контента в сайтах корпоративных знаний исследуются в работах известных ученых: Т. Berners-Lee, D. Beckett, В.Ф. Хорошевского, Т.А. Гавриловой, М. Hausenblas, Т. Heath, С. Bizer, М. Horridge, М. Krötzschi, А.С. Клещева, Ю.А. Загорулько, Л.С. Глобы и др.

Несмотря на достигнутые успехи, нерешенными остаются многие актуальные проблемы. Важнейшей из них является высокая трудоёмкость обновления сайтов, ориентированных на долговременную поддержку и оперирующих большими объёмами сложноструктурированной информации.

Трудоёмкость обновления сайтов указанного типа становится особенно высокой, если при этом осуществляется не только накопление и актуализация хранимой информации, но и переход на более современные и эффективные средства технической реализации сайта.

Обновление сайта включает в себя два аспекта: обновление контента и обновление системы управления контентом сайта. В современных сайтах процесс обновления системы управления контентом требует существенной реструктуризации контента. Учитывая специфику различных сайтов и ценность информации в них для владельца сайта, эта проблема решается по-разному:

- разработкой сайта на новых инструментальных средствах и ручной или автоматизированным переносом информационного контента сайта на новую платформу;

- сохранением старой версии сайта и разработкой новой версии сайта без переноса информационного контента, который был накоплен до момента создания новой версии;

- разработкой механизмов поэтапного автоматизированного обновления используемых инструментальных средств без переноса информационного контента сайта.

Данные подходы при применении их к сайтам со сложноструктурированным информационным контентом приводят к трудоёмким и ресурсозатратным процедурам актуализации, обновления, реструктуризации и переноса информации.

В работе предложено решение проблемы снижения трудоёмкости обновления сайта путем использования такой модели сайта, в которой представление и обработка контента зависели бы только от семантики описываемой предметной области и не зависели от различных вариантов технической реализации сайта. В качестве формальной основы указанной модели используются предложенные В.В. Голенковым унифицированные семантические сети с базовой теоретико-множественной интерпретацией. Предложенные в диссертационной работе модель сайта и модель навигационного поиска, основанные на семантических сетях, названы соответственно семантической моделью сайта и семантической моделью навигационного поиска.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами и темами**

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям «Информационные ресурсы и сервисы, в том числе электронные библиотеки, интерактивные электронные услуги, системы электронной торговли, информационно-аналитические и справочные системы, программно-аппаратные средства теле-

медицины и дистанционного обучения» согласно пункту 5.3 перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг. (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585).

Диссертационное исследование выполнено в рамках следующих НИР: «Разработка подсистемы тестирования и адаптации к пользователю в рамках комплексной системы автоматизации деятельности» (грант Министерства образования № 02-3002); «Разработка принципов построения естественно-языкового интерфейса для виртуальных учебных организаций» (№ ГР 20042530); «Разработка инструментальных средств проектирования мультимодальных пользовательских интерфейсов обучающих систем» (№ ГР 2005624); «Разработка методов и языков программирования интеллектуальных систем, построенных на основе графодинамической ассоциативной машины» (№ ГР 20044223); «Исследование методов семантической структуризации баз знаний интеллектуальных обучающих систем для описания алгоритмов и программ» (№ ГР 20052296); «Технология разработки адаптивных интеллектуальных систем обучения на основе когнитивных моделей пользователей» (№ ГР 20066855); «Исследование моделей пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем» (№ ГР 20102926); «Разработка фундаментальных основ решения интеллектуальных задач на высокопроизводительных вычислительных системах» (№ ГР 20102926).

#### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является разработка моделей, методов и средств, обеспечивающих построение сайтов, которые имеют сложноструктурированный контент и обладают свойством переносимости контента при переходе на новые технические платформы реализации сайта, что позволяет снизить трудоёмкость такого перехода. Указанная цель определяет следующие задачи исследования:

1. Проанализировать модели, методы и средства построения сайтов со сложноструктурированным контентом.
2. Разработать семантическую модель сайта со сложноструктурированным контентом.
3. Разработать семантическую модель навигационного поиска по сложноструктурированному контенту сайта.
4. Разработать языковые средства представления сложноструктурированного контента сайта.
5. Разработать метод отображения семантических моделей сайтов со сложноструктурированным контентом на различные программные платформы.
6. Реализовать средства разработки сайтов с переносимым сложноструктурированным контентом.

*Объектом исследования* являются сайты со сложноструктурированным контентом. *Предметом исследования* являются модели, методы и средства разработки сайтов со сложноструктурированным контентом.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Семантическая модель сайта, ориентированная на структуризацию и унификацию представления сложноструктурированного контента и отличающаяся от традиционных моделей сайтов зависимостью только от семантики предметной области.

2. Семантическая модель навигационного поиска, обеспечивающая навигацию по сложноструктурированному контенту и отличающаяся от существующих моделей навигационного поиска предоставляемой разработчику сайта возможностью расширения набора навигационно-поисковых операций и шаблонов поиска для них.

3. Модель семантически структурированного гипертекста и язык разметки для представления сложноструктурированного контента сайта на основе унифицированных семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией, которые отличаются от RDF-модели использованием отношений, позволяющих указывать роли элементов различных структур, и возможностью унифицированного представления отношений любой арности.

4. Методы отображения семантической модели сайта со сложноструктурированным контентом на основе представления алфавита унифицированных семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией с помощью алфавита языков представления онтологий, построенных на основе RDF, обеспечивающие семантически эквивалентное представление такой модели сайта в RDF.

5. Программная реализация средств разработки сайтов со сложноструктурированным контентом, построенная на базе платформы Mediawiki, и средств переноса разрабатываемых сайтов на другие инструментальные средства разработки сайтов, основанных на семантических сетях.

### **Личный вклад соискателя**

Диссертационное исследование является квалификационной научной работой, выполненной соискателем самостоятельно на основе изучения отечественной и иностранной литературы, математических моделей, алгоритмов в области представления и обработки знаний.

Основные выводы, теоретические положения и практические разработки принадлежат автору диссертации и составляют содержание данной работы. Научный руководитель, д-р техн. наук, проф. В.В. Голенков принимал участие

в постановке задач, определении возможных путей решения, оценке результатов.

### **Апробация результатов диссертации**

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной научно-методической конференции «Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века» (Минск, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2011), VIII Республиканской научно-технической конференции «НИРС-2003» (Минск, 2003), Международной летней школе-семинаре аспирантов, магистрантов и студентов «Современные информационные технологии» (Браславские озера, 2003, 2004, 2005), Республиканской научно-методической конференции «Высшее техническое образование: проблемы и пути развития» (Минск, 2006), Конгрессе по интеллектуальным системам и информационным технологиям «AIS-IT'09» (Дивноморское, 2009), Третьей Всероссийской научной конференции «Нечеткие системы и мягкие вычисления» (Волгоград, 2009), Международной конференции «Информационные системы и технологии» IST (Минск, 2009, 2010), Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (Минск, 2011, 2012), Международной научно-технической конференции «Информационные технологии и системы» ИТС (Минск, 2011), Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Севастополь, 2011).

Результаты диссертационной работы внедрены и используются:

- в технологическом процессе оптимизации сайтов ООО «Артюкс Медиа», г. Минск;
- в технологическом процессе разработки сайтов ООО «Партнёр» г. Волгоград, Российская Федерация;
- в учебном процессе кафедры информационно-вычислительных систем Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола, республика Марий Эл, Российская Федерация;
- в учебном процессе кафедры ИИТ БГУИР.

### **Опубликованность результатов диссертации**

Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 32 научных работах: 9 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных исследований, 3 статьи в сборниках научных трудов, 20 статей сборниках материалов и тезисов докладов научных конференций. Общий объём опубликованных материалов составляет 8,69 авторских листов. Без соавторства опубликовано 16 работ, из них 8 статей в рецензируемых изданиях.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка, списка публикаций автора и 7 приложений. В первой главе проведен анализ средств структуризации информации в сложноструктурированных сайтах и методов хранения и поиска этой информации. Во второй главе предложена семантическая модель сайта со сложноструктурированным контентом. Третья глава содержит описание модели семантически структурированного гипертекста. В четвертой главе описаны разработанные программные средства и проведена оценка предложенных моделей, методов и средств.

Общий объем диссертации составляет 138 страниц, из которых 100 страниц основного текста, 47 рисунков, 11 таблиц, библиография из 131 источника, включая 32 публикации автора, приложения на 38 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении кратко излагается состояние работ в исследуемой области, обозначаются актуальные задачи и формулируются основные идеи работы.

В общей характеристике работы сформулированы цель и задачи работы, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализированы научные подходы к разработке сайтов с переносимым сложноструктурированным контентом и к организации поиска в известных хранилищах семантических сетей. Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

– наиболее перспективными средствами представления информации в сайтах со сложноструктурированным контентом являются семантические сети. Эффективная обработка и структуризация информации в таких сайтах невозможны без создания семантических моделей таких сайтов;

– основной проблемой, которая является препятствием к созданию эффективных средств поиска мультимедийных данных в сайтах со сложноструктурированным контентом, является разнородность мультимедийных данных и их представлений, а также сложность их семантического аннотирования и отсутствие согласованности в стандартах метаданных, использующихся для представления мультимедийных документов;

– представление знаний о мультимедийных документах требует не только применения специализированных моделей представления знаний, в основе которых лежат семантические сети, но и моделей, которые позволяют эффективно представлять знания, относящиеся к разным логическим метаярусам представления информации;



– модели навигационного поиска по сложноструктурированному контенту, представленному в виде семантических сетей, основанных на RDF-модели (Resource Description Framework), обладают возможностью навигации только на основании операции поиска по графовому образцу, что существенно сужает диапазон возможных поисковых задач. Для повышения качества таких моделей необходимо разработать средства, в основе которых лежит использование множества операций, определяемых на основе множества поисковых задач сайта;

– для использования семантических моделей сайтов со сложноструктурированным контентом в современных средствах разработки необходимо разработать методы отображения этих моделей на RDF-модель, что позволит задействовать существующие программные решения для хранения и обработки RDF-графов.

Вторая глава посвящена разработке семантической модели сайта со сложноструктурированным контентом. Сайты со сложноструктурированным контентом в рамках данной работы трактуются как специальный класс интеллектуальных систем, построенных на базе семантической модели интеллектуальной системы, предложенной В.В. Голенковым, и гипертекстовой модели представления информации. Семантическая модель сайта со сложноструктурированным контентом задается следующим образом:

$$M = \{ O, S_A, S_P, O_{hyp}, M_L, M_S, I \}, \quad (1)$$

где  $O$  – онтология предметной области, по которой разрабатывается сайт, в рамках которой специфицированы сущности предметной области и отношения между ними;

$S_A$  – множество классов статей сайта, которое строится на основании онтологии  $O$ . Каждой указанной статье сайта однозначно соответствует некоторая описываемая сущность предметной области. А каждый класс статей задается соответствующим классом описываемых сущностей предметной области и множеством отношений, заданных на этом классе сущностей;

$S_P$  – множество классов страниц сайта, каждый из которых задается некоторым множеством классов статей, причем каждый экземпляр этого класса связан с другими отношением порядка следования;

$O_{hyp}$  – онтология мультимедийных документов, которая строится с учетом концепции языка гипермедийных сетей;

$M_L$  – модель семантически структурированного гипертекста для представления сложноструктурированного контента сайта;

$M_S$  – семантическая модель навигационного поиска, которая состоит из множества операций обработки семантических сетей, обеспечивающих навигацию по сайту со сложноструктурированным контентом;

*I* – метод отображения семантической модели сайта со сложноструктурированным контентом на RDF-модель.

Модель (1) названа SC-моделью сайта, так как в её основе лежит универсальный способ представления семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией, предложенный в работах В.В. Голенкова и названный SC-кодом (Semantic Code).

Информационные конструкции, представленные в SC-коде, называются SC-графами. Кроме SC-кода, вводится способ символьной визуализации SC-графов, названный SCп-кодом (Semantic Code natural). Текст SCп-кода представляет собой совокупность SCп-статей, каждая из которых является описанием семантической окрестности некоторого соответствующего ей элемента SC-графа. Тексты SCп-кода, размещаемые в сайтах, названы семантически структурированными гипертекстами.

Для семантической спецификации мультимедийных данных в сайтах со сложноструктурированным контентом в рамках диссертации на базе SC-кода разработан язык гипермедийных сетей, в основе которого лежит универсальная система метаданных «Дублинское ядро».

Семантическую модель навигационного поиска для сайтов, построенных на основе модели (1), зададим следующим образом:

$$M_S = \{ L_q, L_a, W \}, \quad (2)$$

где  $L_q$  – язык вопросов, с помощью которого в виде формальных текстов осуществляется описание запрашиваемых фрагментов семантической сети;

$L_a$  – язык, с помощью которого осуществляется выделение формальных текстов, являющихся ответами, и описание их связи с формальными текстами, которые представляют вопросы, соответствующие указанным ответам;

$W$  – множество навигационно-поисковых операций, каждая из которых инициируется соответствующим ей типом вопроса и выполняет поисковую процедуру на семантической сети.

Модель навигационного поиска (2) относится к классу моделей вопросно-ответного поиска и позволяет обеспечить сайт со сложноструктурированным контентом базовыми средствами навигации.

Третья глава посвящена разработке модели семантически структурированного гипертекста для разметки сложноструктурированного контента в сайтах, построенных на основании модели (1), и связи модели (1) с платформой Semantic Web.

Модель семантически структурированного гипертекста формально определяет теги для разметки статей сайтов и правила использования этих тегов. Каждый такой тег в диссертации трактуется как сущность или связка отношения предметной области. На основе указанной модели в рамках диссертации

был разработан язык SCnML (SCn Markup Language) – язык разметки семантически структурированных гипертекстов. Тексты этого языка названы SCnML-текстами. Язык SCnML задается следующим образом:

$$M_L = \{ T_e, T_c, T_{comp}, T_q, R \}, \quad (3)$$

где  $T_e$  – множество *корневых тегов описываемых сущностей* – текстовых обозначений сущностей предметной области. Описание каждой такой корневой сущности представляет собой SCnML-текст, являющийся представлением некоторой SCn-статьи;

$T_c$  – множество *тегов связей* – текстовых обозначений связей отношений, используемых в данной SCn-статье. Такие связи отношений соединяют сущности, описываемые в SCn-статье с одной или более сущностями, обозначения которых представлены в ней;

$T_{comp}$  – множество *тегов компонентов связей* – текстовых обозначений компонентов отношений, каждый из которых в SCn-статье является обозначением сущности, связанной с корневой сущностью отношением, тип которого задается соответствующим тегом многокомпонентной связи;

$T_q$  – множество *тегов запроса* – текстовых представлений спецификаций семантических запросов к сайту, разработанному с помощью семантически структурированных гипертекстов. Использование таких тегов позволяет исключить дублирование информации в рамках различных SCnML-текстов за счет того, что результаты запросов, определяемых данным тегом, включаются в SCn-статью и тем самым позволяют расширить спецификацию сущности, описываемой в рамках неё;

$R$  – множество правил размещения тегов при записи SCnML-текстов.

На множестве SCnML-тегов заданы следующие типы отношений: *быть корневым тегом*, *быть родительским тегом*. Введены следующие правила формирования SCnML-текстов:

– каждый тег связан с другим тегом понятием уровня. В рамках данной работы уровень – это число, показывающее, через сколько отношений связана корневая сущность с некоторой другой сущностью в данной SCn-статье. Уровень позволяет задать отношение между родительским и дочерним тегом и определяет, для какой сущности определены связи отношений, расположенные на один уровень ниже, и к какой связке относятся сущности, являющиеся компонентами связей;

– на одной странице могут располагаться SCnML-тексты, соответствующим нескольким SCn-статьям;

– SCnML-текст, соответствующий одной SCn-статье может входить в состав SCnML-текста, соответствующего другой SCn-статье;

– теги в SCnML-тексте записываются по следующим правилам:

- 1) первым следует тег корневой сущности;
- 2) за тегом корневой сущности может следовать только тег связи;
- 3) тегу компонента связи всегда предшествует тег связи.

Множество  $T_c$  из (3) задается следующим образом:

$$T_c = \{ T_{c1}, T_{c2} \}, \quad (4)$$

где  $T_{c1}$  – множество *тегов однокомпонентных связей* – текстовых представлений связей отношений, каждая из которых в SCn-статье всегда связывает сущность с одной и только одной сущностью, обозначение которой присутствует в данной SCn-статье;

$T_{c2}$  – множество *тегов многокомпонентных связей* – текстовых представлений связей отношений, каждая из которых в рамках SCn-статьи всегда связывает сущность с одной или более сущностями, обозначения которых присутствуют в рамках данной SCn-статьи.

Множество  $T_{c1}$  из (4) задается следующим образом:

$$T_{c1} = \{ T_{c1s}, T_{c1r} \},$$

где  $T_{c1s}$  – множество *тегов однокомпонентных связей без указанной роли компонента связи отношения*, которую они играют в данной связке отношения;

$T_{c1r}$  – множество *тегов однокомпонентных связей с указанной ролью компонента связи отношения*, которую они играют в данной связке отношения.

Множество  $T_{comp}$  из (3) задается следующим образом:

$$T_{comp} = \{ T_{comp1}, T_{comp2} \},$$

где  $T_{comp1}$  – множество *тегов компонентов связей без указания роли компонента связи* – текстовых представлений знаков сущностей, связанных с сущностями, встречаемыми в SCn-статье;

$T_{comp2}$  – множество *тегов компонентов связей с указанием роли каждого компонента* – текстовых представлений компонентов связей отношений, которые являются обозначением сущностей, связанных с некоторыми сущностями, встречаемыми в SCn-статье, каждый компонент связи которого уточняется дополнительно ролью.

В диссертационной работе предлагаются следующие методы отображения SC-моделей на RDF-модель: универсальные и эвристический.

Универсальное отображение семантических моделей сайтов со сложно-структурированным контентом на RDF в данной работе предлагается осуществлять двумя методами. В основе первого метода  $I_{SC}$  лежит

представление элементов SC-графов (SC-элементов) с помощью одного из языков Semantic Web в некотором инструментальном средстве, поддерживающем RDF. В основе второго метода  $I_{RDF}$  лежит представление алфавита языков Semantic Web с помощью средств SC-кода. Рассмотрим указанные методы подробнее.

Метод отображения SC-моделей на RDF-модель  $I_{SC}$  обеспечивает однозначное отображение и задается следующим образом:

$$I_{SC} = \{ S_{SC}, A_{RDF}, R \},$$

где  $S_{SC}$  – множество SC-графов SC-модели некоторого сайта. Такие SC-графы могут включать в том числе и тексты программ обработки SC-графов, представленных средствами SC-кода;

$A_{RDF}$  – множество SC-элементов, представленных в терминах языков Semantic Web – RDFS, OWL или OWL2;

$R$  – множество правил перехода от SC-графов к RDF-графам. Такие правила оформляются в соответствии с синтаксическим представлением как SC-графов, так и RDF-графов.

Метод отображения SC-моделей на RDF-модель  $I_{RDF}$  обеспечивает семантически эквивалентное отображение и задается следующим образом:

$$I_{RDF} = \{ S_{RDF}, A_{RDF}, R, R_{RDF} \},$$

где  $S_{RDF}$  – множество RDF-графов, представленных в SC-коде и задающих SC-модель некоторого сайта;

$A_{RDF}$  – алфавит одного из языков Semantic Web (RDFS, OWL или OWL2), представленный средствами SC-кода;

$R$  – множество правил перехода от SC-графов к RDF-графам. Такие правила оформляются в соответствии с синтаксическим представлением как SC-графов, так и RDF-графов;

$R_{RDF}$  – множество правил преобразования процедур обработки SC-графов в процедуры обработки RDF-графов.

Эвристический метод основан на наборе эвристических правил для преобразования определенных фрагментов SC-графа в семантически эквивалентные им фрагменты RDF-графа. Эвристический метод отображения SC-моделей на RDF-модель зададим следующим образом:

$$I_{SC} = \{ S_{SC}, R_p, H \},$$

где  $S_{SC}$  – множество SC-текстов, задающих SC-модель некоторого сайта. Такие тексты могут включать и процедуры обработки SC-графов;

$R_p$  – множество правил перехода от процедур обработки SC-графа к процедурам обработки RDF-графов;

$H$  – множество эвристических правил для преобразования отношений и сущностей предметной области сайта, описанных с помощью SC-кода, в RDF-классы и свойства.

В четвертой главе описана архитектура программных средств поддержки сайтов со сложнотруктурированным контентом и их программная реализация на базе платформы Mediawiki (рисунок 1).

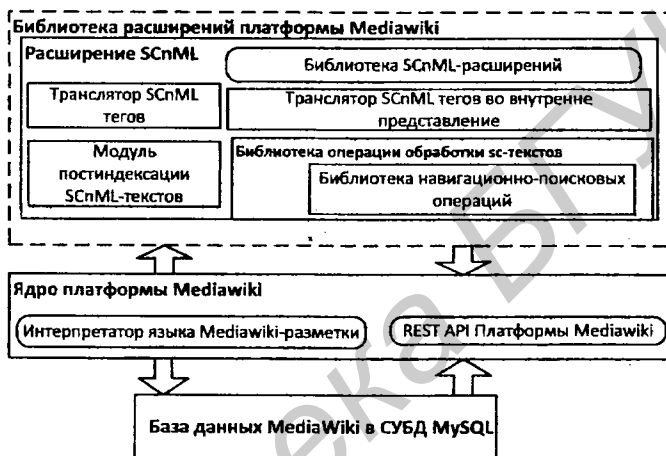


Рисунок 1 – Архитектура сайта со сложнотруктурированным контентом

Результаты диссертационного исследования были использованы в различных открытых проектах (сайт интеллектуальной справочной системы по геометрии, и др.) и внедрены в технологический процесс разработки сайтов предприятий в Республике Беларусь (ООО «Артокс Медиа») и в Российской Федерации (ООО «Партнёр»).

На основании оценки производительности по метрике BSBM наиболее популярных RDF-хранилищ на предмет использования их в качестве средств хранения унифицированных семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией выяснено, что наиболее приемлемыми средствами для этих целей являются системы Sesame и Virtuoso. Проведен сравнительный анализ реализованного в данной работе программного обеспечения и систем SMW, KnowWE и CubicWeb, являющихся его ближайшими аналогами. Выяснено, что предлагаемые в работе средства позволяют обеспечить полный перенос контента сайта без разработки дополнительного программного обеспечения или использования труда разработчика в отличие от систем SMW,

KnowWE и CubicWeb, обеспечивая более эффективный инструментарий для построения нового класса сайтов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. На основе анализа существующих средств представления и обработки сложноструктурированного контента выяснено, что при создании сайтов со сложноструктурированным контентом для обеспечения переносимости контента требуется разработка формальных моделей, в основе которых лежат семантические сети. Результаты изложены в первой главе и опубликованы в следующих работах автора [1-А – 3-А, 13-А, 14-А].

2. На основе формализованной модели гипертекста и семантической модели интеллектуальной системы разработана семантическая модель сайта для представления сложноструктурированной информации, отличающаяся от традиционных моделей сайтов возможностью переноса контента на другие программные платформы и использованием при структуризации предметной области унифицированных семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией. Результаты изложены во второй главе и опубликованы в следующих работах автора [3-А – 5-А, 10-А, 20-А, 22-А – 25-А, 28-А – 31-А].

3. Разработана семантическая модель навигационного поиска, использующая вопросно-ответный поиск для базовой навигации по сайту со сложноструктурированным контентом. В отличие от существующих моделей навигационного поиска, основанных на наборе шаблонов поиска и одной операции поиска по графовому образцу, она позволяет разработчику сайта расширять набор поисковых операций и шаблонов поиска для этих операций на основе определяемого им множества поисковых задач сайта. Результаты изложены во второй главе и опубликованы в следующих работах автора [4-А, 5-А, 10-А – 12-А, 16-А, 17-А, 19-А, 20-А, 22-А – 26-А, 29-А – 32-А].

4. Разработана модель семантически структурированных гипертекстов и язык разметки для представления сложноструктурированной информации в сайтах, в основе такой модели лежит использование унифицированных семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией. Предлагаемая модель определяет принципиально новый способ представления семантических сетей, и отличается от RDF-модели использованием ролевых отношений и возможностью унифицированного представления отношений любой арности. Результаты изложены в третьей главе и опубликованы в следующих работах автора [4-А, 7-А, 10-А, 11-А, 13-А, 15-А – 17-А, 21-А – 27-А, 29-А, 32-А].

5. Предложен метод отображения семантических моделей сайтов со сложноструктурированным контентом на основе алфавита языков Semantic Web для описания онтологий, обеспечивающий однозначное представление унифицированных семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией с помощью языков, основанных на RDF-модели. Результаты изложены в третьей главе и опубликованы в следующих работах автора [8–А, 9–А, 18–А, 22–А, 24–А, 29–А, 32–А].

6. Предложен метод отображения семантических моделей сайтов со сложноструктурированным контентом на основе описания алфавита языков Semantic Web с помощью унифицированных семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией, обеспечивающий семантически эквивалентное преобразования таких сетей в тексты языков, основанных на RDF-модели, и возможность обработки полученного RDF-графа средствами, предназначенными для используемого в работе класса сетей. Результаты изложены в третьей главе и опубликованы в следующих работах автора [8–А, 9–А, 18–А, 22–А, 24–А, 29–А, 32–А].

7. Предложен метод отображения семантических моделей сайтов со сложноструктурированным контентом на основе эвристических правил преобразования фрагментов унифицированных семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией в семантически эквивалентные им фрагменты, представленные в виде RDF-графа, обеспечивающий представление содержимого сайтов с помощью языков, основанных на RDF-модели. Результаты изложены в третьей главе и опубликованы в следующих работах автора [8–А, 9–А, 18–А, 22–А, 24–А, 29–А, 32–А].

8. Разработана архитектура программных средств и программные средства поддержки сайтов со сложноструктурированным контентом. Разработан транслятор, который обеспечивает семантически эквивалентное отображение сложноструктурированного контента сайта на RDF-модель. Результаты изложены в четвертой главе и опубликованы в следующих работах автора [8–А, 9–А, 26–А – 27–А, 29–А, 30–А, 32–А].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Разработанные модели, методы и программное обеспечение в целом могут быть использованы при решении задач разработки сайтов, характеризующихся использованием сложноструктурированного контента, и прикладных интеллектуальных систем. Кроме этого, они могут быть использованы в качестве вспомогательных средств коллективной разработки баз знаний образовательных учреждений или организаций занимающихся инновационной разработкой.

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в учебном процессе в высших учебных заведениях, в качестве платформ для обучения



специалистов разработке прикладных интеллектуальных систем по специальностям, где предусмотрено чтение курсов, связанных с теорией и практикой искусственного интеллекта.

Так как данная разработка проводилась с применением свободных программных средств, то она может быть использована в отечественных проектах без приобретения дорогостоящего отечественного и импортного программного обеспечения.

Библиотека БГУИР

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в рецензируемых научных журналах

1–А. Колб, Д.Г. Модель интерфейса графодинамической ассоциативной машины / Д.Г. Колб // Известия Белорусской инженерной Академии. – 2003. – № 1(15)/1. – С. 188–191.

2–А. Колб, Д.Г. Разработка Web-ориентированного протокола визуализации однородных семантических сетей / Д.Г. Колб // Известия Белорусской Инженерной Академии. – 2004. – № 1(17)/1. – С.121–123.

3–А. Колб, Д.Г. Модель пользовательского интерфейса семантических электронных учебников / Д.Г. Колб // Известия Белорусской Инженерной Академии. – 2006. – № 1(21)/3. – С. 98–101.

4–А. Колб, Д.Г. Язык описания пользовательского интерфейса семантических электронных учебников / Д.Г. Колб, Д.А. Кальчевский, С.В. Лешкевич // Известия Белорусской Инженерной Академии. – 2006. – № 1(21)/3. – С. 95–98.

5–А. Колб, Д.Г. Пользовательский интерфейс семантических электронных учебных пособий / Д.Г. Колб // Инженерный вестник. – 2006. – № 1(21)/1. – С. 45–50.

6–А. Колб, Д.Г. Унифицированная модель пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем / Д.Г. Колб // Доклады БГУИР. – 2009. – № 7(45). – С. 52–59.

7–А. Колб, Д.Г. Средства просмотра баз знаний интеллектуальных систем / Д.Г. Колб // Вестник БрГТУ. – 2009. – № 5(59). – С. 58–62.

8–А. Колб, Д.Г. Семантически структурированные гипертексты как основа построения web-сайтов / Д.Г. Колб // Электроника-инфо: научно-практический журнал для специалистов. – 2011. – № 3. – С. 65–68.

9–А. Колб, Д.Г. Интеллектуальные системы для сети Internet на основе семантически структурированных гипертекстов / Д.Г. Колб // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»: межвуз. сб. науч. ст. – 2011. – Т. 11, вып. 12. – С. 60–63.

### Статьи в сборниках научных трудов

10–А. Колб, Д.Г. Модель пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем / Д.Г. Колб, В.В. Голенков // Нечеткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2009): сб. ст. третьей Всероссийск. науч. конф., Волгоград, 21–24 сент. 2009 г.; в 2 т. редкол.: С.М. Ковалев [и др.]. – Волгоград, 2009. – Т. 2. – С. 171–180.

11–А. Колб, Д.Г. Проектирование пользовательских интерфейсов интел-

лектуальных систем / Д.Г. Колб, Д.Н. Корончик, В.А. Житко // Нечеткие системы и мягкие вычисления (НСМВ–2009): сб. ст. третьей Всероссийск. науч. конф., Волгоград, 21–24 сент. 2009 г.: в 2 т./ редкол.: С.М. Ковалев [и др.]. – Волгоград, 2009. – Т. 2. – С. 181–188.

12–А. Голенков, В.В. Пользовательский интерфейс интеллектуальных систем / В.В. Голенков, Д.Г. Колб, С.А. Самодумкин // «AIS-IT'09»: тр. междунар. конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям, Россия, Геленджик, Дивноморское, 2–10 сент. 2009 г.: в 4 т./ редкол.: В.А. Литвиненко. – Москва, 2009. – Т. 1. – С. 309–316.

### **Статьи в сборниках материалов и тезисов докладов научных конференций**

13–А. Казан, В.М. Средства семантической визуализации сложно структурированных баз знаний для создания стимуляторов процесса познания / В.М. Казан, Д.Г. Колб, А.С. Лумянский, Р.Е. Сердюков, С.Л. Шкред // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 18–20 дек. 2001 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.И. Красовский (отв. ред.). – Минск, 2001. – С. 148–150.

14–А. Елисеева, О.Е. Средства адаптации к пользователю в корпоративной системе виртуальной кафедры / О.Е. Елисеева, М.М. Рафалович, Д.В. Рожанский, Д.Г. Колб // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы II Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 26–28 нояб. 2002 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.И. Красовский (отв. ред.). – Минск, 2002. – С. 353–356.

15–А. Колб, Д.Г. Язык описания пользовательского интерфейса графодинамических ассоциативных машин / Д.Г. Колб // НИРС-2003: тез. докл. VIII Респ. науч.-техн. конф. студ. и асп., Минск, 9–10 дек. 2003 г.: в 7 ч. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2003. – Ч. 7. – С. 66–67.

16–А. Колб, Д. Г. Мультимодальный пользовательский интерфейс систем дистанционного обучения / Д.Г. Колб // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы III Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 13–15 нояб. 2003 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.И. Красовский (отв. ред.). – Минск, 2003. – С. 426–428.

17–А. Колб, Д.Г. Пользовательский интерфейс семантического электронного учебника по теории графов/ Д.Г. Колб // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы IV Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 10–12 нояб. 2004 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.И. Красовский (отв. ред.). – Минск, 2004. – С. 329–331.

18–А. Колб, Д.Г. Интегрированный пользовательский интерфейс семантических электронных учебников / Д.Г. Колб, Р.Е. Сердюков // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы V Междунар. науч.-метод. конф., Минск 10–11 нояб. 2005 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: С.И. Городко (отв. ред.). – Минск, 2005. – С. 176–178.

19–А. Голенков, В.В. Адаптация интерфейсов с помощью модели пользователя / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина, Д.Г. Колб, М.С. Семенова // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития: материалы Респ. науч.-метод. конф., Минск, 21–22 нояб. 2006 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2006. – С. 4–5.

20–А. Колб, Д.Г. Пользовательский интерфейс семантических интеллектуальных систем / Д.Г. Колб // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы V Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 22–23 нояб. 2007 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: С.И. Городко (отв. ред.). – Минск, 2007. – С. 193–196.

21–А. Колб, Д.Г. Редактор семантических сетей и его формальное описание / Д.Г. Колб, Д.Н. Корончик // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы V Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 22–23 нояб. 2007 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: С.И. Городко (отв. ред.). – Минск, 2007. – С. 196–199.

22–А. Колб, Д.Г. Унификация визуальных методов работы со знаниями / Д.Г. Колб // Информационные системы и технологии (IST'2009): материалы V Междунар. конф., Минск, 16–17 нояб. 2009 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: в 2 ч./ редкол.: Н.И. Листопад [и др.]. – Минск, 2009. – Ч. 2. – С. 145–149.

23–А. Голенков, В.В. Гипермедийный пользовательский интерфейс интеллектуальных систем / В.В. Голенков, Д.Г. Колб // Информационные системы и технологии (IST'2010): материалы VI Междунар. конф., Минск, 24–25 нояб. 2010 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А.Н. Курбацкий (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2010. – С. 458–462.

24–А. Колб, Д.Г. Направления, методы и средства применения семантических сетей в Internet-технологиях / Д.Г. Колб // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2011): материалы Междунар. научн.-техн. конф., Минск, 10–12 февр. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – С. 443–463.

25–А. Колб, Д.Г. Массовая технология модульного проектирования семантически совместимых компьютерных систем различного уровня интеллектуальности / Д.Г. Колб, В.В. Голенков, Н.А. Гулякина // КрымМиКо-2011: материалы конф., Севастополь, 12–16 сент. 2011 г.: в 2 т./ редкол.: П.П. Ермолов

(отв. ред.). – Севастополь, 2011. – Т. 1. – С. 39–42.

26–А. Колб, Д.Г. Структуризация мультимедиа ресурсов для семантических web-сайтов / Д.Г. Колб, С.Г. Мошенко // Информационные технологии и системы (ИТС 2011): материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26 окт. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Л.Ю. Шилин (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – С. 143–144.

27–А. Колб, Д.Г. Семантическая модель сайта конференции / Д.Г. Колб, С.Г. Мошенко // Информационные технологии и системы (ИТС 2011): материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26 окт. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Л.Ю. Шилин (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – С. 145–146.

28–А. Колб, Д.Г. Семантические технологии управления проектами / Д.Г. Колб, И.И. Жуков, Н.Н. Гракова // Информационные технологии и системы (ИТС 2011): материалы междунар. научн.-техн. конф., Минск, 26 окт. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Л.Ю. Шилин (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – С. 147–148.

29–А. Колб, Д.Г. Web-ориентированная реализация семантических моделей интеллектуальных систем для систем дистанционного обучения / Д.Г. Колб // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы V Междунар. науч.-метод. конф., Минск 1–2 дек. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Б.В. Никульшин [и др.]. – Минск, 2011. – С. 258–261.

30–А. Колб, Д.Г. Семантически структурированные сайты, ориентированные на поддержку подготовки и проведения научно-учебных мероприятий / Д.Г. Колб, С.Г. Мошенко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы V Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 1–2 дек. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Б.В. Никульшин [и др.]. – Минск, 2011. – С. 264–266.

31–А. Колб, Д.Г. Применение семантической технологии для построения модели управления проектами / Д.Г. Колб, И.И. Жуков, Н.Н. Гракова // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы V Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 1–2 дек. 2011 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Б.В. Никульшин [и др.]. – Минск, 2011. – С. 267–269.

32–А. Колб, Д.Г. Web-ориентированная реализация семантических моделей интеллектуальных систем / Д.Г. Колб // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2012): материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–18 февр. 2012 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. – С. 111–122.

## РЭЗЬЮМЭ

Колб Дзмітрый Рыгравіч

### Мадэлі, метады і сродкі распрацоўкі сайтаў з пераносным складанаструктураваная кантэнтам на базе семантычных сетак

**Ключавыя словы:** семантычныя сеткі, сэмантычная мадэль, семантычная структурызацыя, Semantic Web, семантычны пошук.

**Мэта працы:** распрацоўка мадэляў, метадаў і сродкаў, забяспечваючых лабудову сайтаў, якія маюць складанаструктураваны кантэнт і валодаюць уласцівасцю пераноснасці кантэнту пры пераходзе на новыя тэхнічныя платформы рэалізацыі сайта.

**Метады даследавання:** метады інжынерны ведаў; тэорыя інфармацыйнага пошуку; матэматычны апарат – аўтаматныя граматыкі; матэматычная логіка; тэорыя графаў.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** У працы даследаваны падыходы да распрацоўкі сайтаў на аснове семантычных тэхналогій. Выяўлены найбольш перспектыўныя падыходы да распрацоўкі такіх сайтаў. Распрацавана сэмантычная мадэль сайта са складанаструктураваная кантэнтам, у аснову якой пакладзена прадстаўленне інфармацыі ў выглядзе семантычных сетак з базавай тэарэтыка-множнай інтэрпрэтацыяй. Для гэтай мадэлі прапанавана выкарыстоўваць семантычную мадэль навігацыйнага пошуку, якая належыць да класа пытална-адказных мадэляў. Распрацаваны сродкі прадстаўлення інфармацыі ў сайтах са складанаструктураваная кантэнтам. Распрацаваны метады адлюстравання, прапанаванай у працы мадэлі сайта, на платформу Semantic Web.

**Ступень выкарыстання:** распрацаваныя мадэлі і сродкі рэалізаваны і ўкаранёны тэхналагічны працэс прадпрыемстваў Рэспублікі Беларусь і Расійскай Федэрацыі, а таксама выкарыстаны ў адкрытых праектах па распрацоўцы інтэлектуальных інфармацыйна-даведачных сістэм па розных прадметных галінах.

## РЕЗЮМЕ

Колб Дмитрий Григорьевич

### **Модели, методы и средства разработки сайтов с переносимым сложноструктурированным контентом на базе семантических сетей**

**Ключевые слова:** семантические сети, семантическая модель, семантическая структуризация, Semantic Web, семантический поиск.

**Цель работы:** разработка моделей, методов и средств, обеспечивающих построение сайтов, которые имеют сложноструктурированный контент и обладают свойством переносимости контента при переходе на новые технические платформы реализации сайта.

**Методы исследования:** методы инженерии знаний; теория информационного поиска; математический аппарат – автоматные грамматики; математическая логика; теория графов.

**Полученные результаты и их новизна.** В работе исследованы подходы к разработке сайтов на основе семантических технологий. Выявлены наиболее перспективные подходы к разработке таких сайтов. Разработана семантическая модель сайта со сложноструктурированным контентом, в основу которой положено представление информации в виде семантических сетей с базовой теоретико-множественной интерпретацией. Для этой модели предложено использовать семантическую модель навигационного поиска, которая принадлежит к классу вопросно-ответных моделей. Разработаны языковые средства представления информации в сайтах со сложноструктурированным контентом. Разработаны методы отображения предложенной в работе модели сайта на платформу Semantic Web.

**Степень использования:** разработанные модели и средства реализованы и внедрены технологический процесс предприятий Республики Беларусь и Российской Федерации, а также использованы в открытых проектах по разработке интеллектуальных информационно-справочных систем по различным предметным областям.

## SUMMARY

Kolb Dmitry

### **Models, methods and design tools of web-sites with the portable complex content based on semantic networks**

**Keywords:** semantic networks, semantic model, semantic structuration, Semantic Web, semantic search.

**Aim of the work:** development of models, methods and tools, to provide construction web-sites with a complex content, and have the portability of content, when switching to a new technical platform implementation of a web-site.

**Research methods:** knowledge engineering methods; theory of information search; mathematical apparatus – automatic grammar; logic theory; graph theory.

**Obtained results and their novelty.** Development approaches of web-sites on the basis of semantic technologies are researched in the paper. The most perspective development approaches of such web-sites are revealed. The semantic model of the web-site with a complex content in which basis information representation in the form of semantic networks with basic set-theoretic interpretation is developed. For this model is offered to use a semantic model of navigation search which belongs to a class of QA models. Language tools of information representation in semantic structured web-sites are developed. Imaging techniques proposed in the site model on the Semantic Web platform are offered.

**Degree of applicability:** the model and the tools are developed and implemented to process enterprises of Belarus and the Russian Federation, and also used in open source projects on development of intelligent information and referral system for different subject areas.



*Научное издание*

**КОЛЬ ДМИТРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ**

**МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ САЙТОВ  
С ПЕРЕНОСИМЫМ СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ КОНТЕНТОМ  
НА БАЗЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Специальность 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение  
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 05.01.2013.	Формат 60x84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 1.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.  
220013, Минск, П. Бровки, 6