

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 004.8 : 519.816 (043)

КАРКАНИЦА
Анна Викторовна

**МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ
АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности
05.13.17 – Теоретические основы информатики

Минск – 2019

Работа выполнена в Белорусском государственном университете.

Научный руководитель – **Краснопрошин Виктор Владимирович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой информационных систем
управления факультета прикладной математики
и информатики Белорусского государственного
университета.

Официальные оппоненты: **Дудкин Александр Арсентьевич**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий лабораторией идентификации систем
ГНУ «Объединенный институт проблем информа-
тики НАН Беларуси»;

Железко Борис Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Маркетинг» Белорусского
национального технического университета.

Оппонирующая организация – **УО «Белорусский государственный универ-
ситет информатики и радиоэлектроники».**

Защита состоится 10 января 2020 г. в 10.00 на заседании совета по защите
диссертаций Д 02.01.02 при Белорусском государственном университете
по адресу: г. Минск, ул. Ленинградская 8 (корпус юридического факультета),
ауд. 407. Телефон учёного секретаря: 209-57-09.
Почтовый адрес: пр-т Независимости 4, Минск, 220030.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке
Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан «___» декабря 2019 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат физ.-мат. наук доцент

Е.С. Чеб

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время многие задачи принятия решений решаются в условиях быстро изменяющейся среды. Это обусловлено общими процессами глобализации и темпами развития научно-технического прогресса, бурным ростом объемов и источников информации. Изменчивость среды повышает риск использования недостоверных (не обоснованных или устаревших) знаний. Как следствие, это приводит к принятию малоэффективных, запоздалых или вообще недопустимых решений.

Появляется новый подкласс задач – задач принятия решений (ЗПР) в условиях неопределенности среды. А в информатике формируется актуальное научное направление, связанное с разработкой технологий для построения адаптивных систем поддержки принятия решений (АСППР). Такие системы призваны повысить эффективность принятия решений за счет адаптации предметной области (ПрО) к требованиям среды и аккумуляции инновационных знаний.

Проблемы принятия решений рассматриваются в работах известных зарубежных и отечественных ученых: Н.А. Simon, D.J. Power, М.Н. Mescon, М.Ж. Kochenderfer, С.В. Holsapple, О.И. Ларичева, Г.С. Осипова, Т.А. Гавриловой, И.Г. Черноруцкого, С.В. Абламейко, В.В. Краснопрошина и др.

Многие исследователи отмечают, что на данный момент не существует строгого определения, классификации и общепринятой архитектуры АСППР. Более того, предложенные архитектуры либо узко специализированы, либо предлагают адаптацию только отдельных компонент из состава СППР. Существующие технологии и СППР ориентированы, в основном, на плановые, хорошо структурированные задачи со статической ПрО. В них отсутствуют механизмы, обеспечивающие адаптацию модели ПрО. Вместо экспертных источников информации используются консервативные базы или хранилища данных, в которых могут отсутствовать актуальные данные, достоверно и полно описывающие проблемную ситуацию. В условиях глобальной, быстро меняющейся среды такой подход является малоэффективным.

Поэтому актуальной является проблема разработки соответствующей модели ПрО и механизмов ее адаптации к условиям решения ЗПР, в том числе за счет оперативной аккумуляции распределенных экспертных знаний и возможности их своевременного обновления.

В диссертационной работе исследуется один из возможных подходов к решению данной проблемы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Тема диссертации соответствует следующим приоритетным направлениям: «5.1 Методы математического и компьютерного моделирования, компьютерные технологии и интеллектуальные системы поддержки принятия решений» Перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 гг., утвержденного Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г., № 585; «7. Информационно-коммуникационные и авиакосмические технологии: разработка интегрированных систем автоматизации управления процессами и ресурсами организаций; технологии развития информационного общества» Перечня приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 г., № 166.

Результаты, изложенные в диссертационной работе, получены в рамках исследований и разработок, проводимых на кафедре информационных систем управления (ИСУ) факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета (БГУ) и на кафедре современных технологий программирования (СТП) факультета математики и информатики Гродненского государственного университета имени Янки Купалы (ГрГУ им. Я. Купалы) в соответствии с:

1) научно-исследовательской программой БГУ «Разработать общие принципы построения интеллектуальных информационных систем, математических моделей, методов, информационно-компьютерных технологий для систем принятия решений и распознавания образов», задание программы НИР БГУ (гос. рег. № 20062644) на 2006–2010 гг.;

2) программой совместных научных исследований БГУ и ГрГУ им. Я. Купалы «Модели, методы и технология построения автономных автоматизированных систем обучения (АОС) с элементами искусственного интеллекта и web-обновлением контента» на 2011 г. (приказ ректора ГрГУ им. Я. Купалы № 1070 от 03.08.2011).

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы – разработка моделей, алгоритмов и технологии для построения адаптивных систем поддержки принятия решений, основанных на знаниях из распределенных экспертных источников.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Провести анализ эволюции ЗПР, существующих методов и технологий для построения систем поддержки принятия решений.
2. Построить модель предметной области, обеспечивающую возможность ее адаптации к изменениям среды и модель сцены, обеспечивающую формирование контента предметной области распределенными экспертами.
3. Разработать методологию построения адаптивной модели предметной области.
4. Разработать алгоритмы адаптации модели предметной области и механизмы приобретения распределенных экспертных знаний.
5. Разработать программную технологию для построения адаптивной СППР, функционирующей в условиях изменяющейся среды.

Объект исследования – компьютерные системы поддержки принятия решений.

Предмет исследования – модели и алгоритмы для принятия решений на основе распределенных экспертных знаний в условиях изменчивости среды.

Научная новизна

Научная новизна диссертации состоит в разработке нового подхода к построению адаптивных систем поддержки принятия решений, основанного на многокомпонентной модели предметной области и открытой архитектуре СППР.

Многокомпонентная адаптивная модель предметной области построена за счет интеграции разделяемых ее составляющих (структурной, информационной, алгоритмической и технологической) с соблюдением принципов модульности, совместимости и разделения ответственностей. Это позволило устранить монолитность существующих моделей предметной области и реализовать эффективные механизмы независимой адаптации ее составляющих.

Архитектура АСППР разработана на основе методологии распределенного высокоуровневого моделирования High Level Architecture (HLA) в форме федерации, допускающей включение в нее необходимого набора автономных взаимодействующих федератов, что обеспечило открытость и расширяемость архитектуры. Включение в модель федерата дополнительного атрибута владения позволило обеспечить корректную, соответствующую иерархической структуре исходной задачи, интеграцию фрагментов знаний экспертов.

В совокупности, предложенный подход обеспечивает возможность адаптации предметной области, сцены решения ЗПР и архитектуры АСППР к изменяющимся условиям внешней среды.

Положения, выносимые на защиту

1. Многокомпонентная адаптивная модель предметной области, основанная на ее представлении в виде структурной, информационной, алгоритмической и технологической составляющих, что позволило за счет соблюдения принципов модульности, совместимости и делимости компонент обеспечить возможность адаптации отдельных ее составляющих к условиям изменения среды.

2. Методология построения модели, основанная на синтезе структурных, объектно-ориентированных и распределенных методологий моделирования, что позволило в рамках единого подхода решить проблему моделирования структуры предметной области, знаний экспертов, распределенной сцены, определить механизмы адаптации и средства коммуникации экспертов.

3. Алгоритмы адаптации, основанные на транзитивном замыкании графа и базовом наборе CRUD-операций, что позволило упростить реализацию алгоритмов, унифицировать интерфейс модуля адаптации и обеспечить независимость его реализации от используемой СУБД.

4. Технология построения АСППР, основанная на интеграции технологии построения высокоуровневых архитектур (HLA) и технологий разработки веб-приложений, что позволило за счет возможности использования свободно распространяемых библиотек сократить время разработки программных систем и увеличить их жизненный цикл в целом.

Личный вклад соискателя

Работа основывается на результатах исследований автора, проводимых на кафедре ИСУ БГУ и кафедре СТП ГрГУ им. Я. Купалы. Научный руководитель принимал участие в постановке задач и обсуждении подходов к решению. При ссылке на совместные публикации подразумеваются результаты, полученные лично автором диссертации.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные научные и практические результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: XII Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (Гомель, 2009); International Conference on Modeling and Simulation MS'2012 (Minsk, 2012); Third World Conference on Information Technology WCIT-2012 (Barcelona, Spain, 2012); Международный конгресс по информатике

«Информационные системы и технологии» CSIST'2011, 2016 (Минск 2011, 2016); Крымская международная математическая конференция КММК-2013 (Судак, Украина, 2013); International Conference on Pattern Recognition and Information Processing PRIP'2014, 2016, 2019 (Минск 2014, 2016, 2019); Международная научно-практическая конференция «Веб-программирование и Интернет-технологии» WebConf 2015 (Минск, 2015).

Результаты исследования внедрены в учебный процесс кафедры СТП ГрГУ им. Я. Купалы, в деятельность Центра интернационализации образования при реализации международных образовательных проектов и Центра трансфера технологий ГрГУ им. Я. Купалы, а также используются в ООО «ДЕВКРАФТ» для разработки отдельных программных модулей логистических систем (имеется 4 акта о внедрении).

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 22 научных работах, из которых 8 статей в научных изданиях в соответствии с п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общим объемом 3,98 авторского листа), 4 статьи в других научных изданиях, 9 статей в сборниках материалов научных конференций, 1 тезисы.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из перечня сокращений и условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложения. Полный объем диссертации составляет 126 страниц, в том числе 47 рисунков занимают 16 страниц, 2 таблицы на 1 странице, одно приложение занимает 9 страниц. Библиографический список содержит 171 наименование, включая собственные публикации соискателя ученой степени.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе исследованы проблемы, связанные с принятием решений в условиях глобальной, изменяющейся среды. Показано, что большинство ЗП современного периода решаются в условиях, для которых характерны: высокая интенсивность появления новых знаний, постоянное увеличение количества источников данных (не всегда достоверных), тенденция быстрого «устаревания» знаний в области информационных технологий, образования, медицины и др.

Обозначенные особенности позволили выделить отдельный подкласс ЗПР – принятие решений в условиях неопределенности ПрО. Под неопределенностью в данном случае понимается изменение заранее спрогнозированных параметров среды. Основным требованием к решению таких задач является возможность адаптации их предметных областей.

В заключительной части главы поставлена задача на разработку компьютерной технологии для построения адаптивных СППР, включающей построение моделей (ПрО, сцены, акторов), разработку алгоритмов адаптации и соответствующего программного инструментария.

Во второй главе представлены результаты теоретических исследований, связанных с проблемой моделирования адаптивных ПрО и сцены, обеспечивающей взаимодействие всех участников решения.

Показано, что существующие модели сцены не обеспечивают поддержку жизненного цикла ПрО в условиях изменяющейся среды. Разработаны модели акторов (центра (С) и экспертов (Е)), сценарий поведения которых определяется ролью и соответствующим набором допустимых действий над объектами ПрО (рисунок 1а). Предложена модель сцены, дополненная искусственными акторами: менеджером разрешений PManager (для контроля доступа к объектам ПрО и соответствующим CRUD-операциям) и валидатором (для оценки уровня готовности ПрО и принятия решения об адаптации) (рисунок 1б).

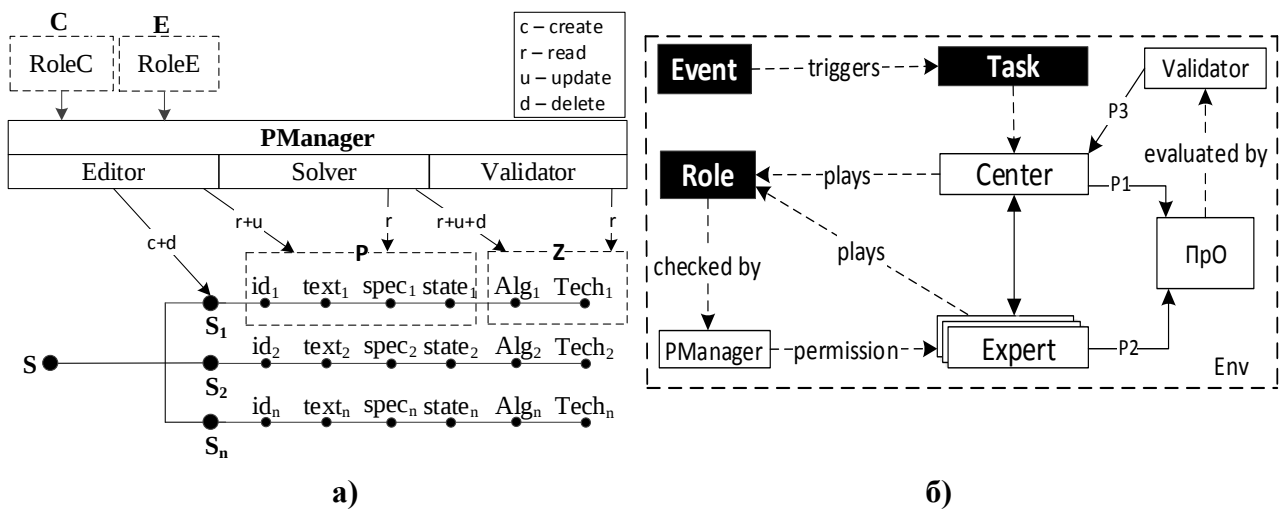
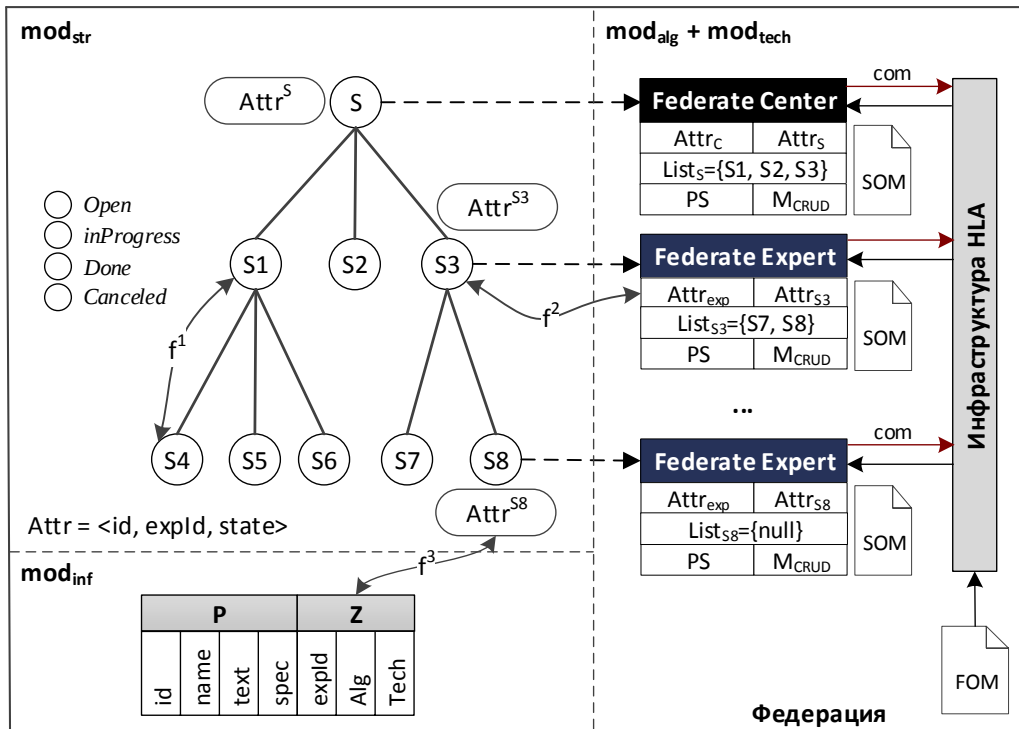


Рисунок 1. – Сценарии поведения акторов (а) и сцена построения ПрО (б)

Далее в главе рассмотрены существующие методологии моделирования ПрО и показано, что прямое использование структурных, объектно-ориентированных и других методологий не позволяет устранить статичность модели, удовлетворить свойство адаптивности ПрО и возможность ее формирования распределенными экспертами.

Предложена многокомпонентная адаптивная модель, представленная структурной, информационной, алгоритмической и технологической составля-

ющими: $\text{mod}_D = (\text{mod}_{\text{str}}, \text{mod}_{\text{inf}}, \text{mod}_{\text{alg}}, \text{mod}_{\text{tech}})$. Все составляющие модели представлены на рисунке 2.



S1, S2, ... S8 – идентификаторы подзадач целевой задачи S

Рисунок 2. – Компоненты адаптивной модели Про

Структурная составляющая mod_{str} определяется множеством значимых сущностей (задача, эксперт, знания) и отношений (задача-подзадача, задача-эксперт, задача-знания). Она представлена в виде дерева, каждая вершина которого уточняется набором атрибутов, идентифицирующих задачу, эксперта и фазу жизненного цикла.

Информационная составляющая mod_{inf} представляет знания в виде фреймов, в которых слот P определяет предметную идентификацию задачи, а Z используется для представления знаний (алгоритмического и технологического решения).

Алгоритмическая составляющая mod_{alg} представляет механизм адаптации Про. Предложена реализация этой составляющей на основе паттерна CRUD, задающего базовые операции (create, read, update, delete) по манипуляции вычислительными сущностями (файл, объект, структура). Определены CRUD-операции на множествах объектов Task, Expert, P, Z.

Технологическая составляющая mod_{tech} строится на основе модели федерации, регламентируемой стандартом высокоуровневой архитектуры HLA. Федерация моделирует среду решения ЗПР, состоит из автономных компонент (федерат-центр, федераты-эксперты) и обеспечивает взаимодействие между ними. Предложена модификация модели федерата путем введения в нее атрибутов, идентифицирующих задачу, эксперта и дополнительного атрибута вла-

дения, представленного списком идентификаторов подзадач, которыми владеет федерат.

Для построения адаптивной модели разработана методология, общая схема которой (КМ→ОМ→ФМ) включает три основных этапа: 1) построение на основе методологии «сущность-связь» концептуальной модели (КМ); 2) уточнение КМ на основе теоретико-множественного представления объектов ПрО до уровня онтологической модели (ОМ) (их атрибутов и операций над объектами); 3) преобразование ОМ в физическую модель (ФМ) в форме HLA-федерации.

Предложенная методология основана на органичном синтезе концептуально разных подходов, что позволило в рамках единой методологии решить проблемы моделирования структуры предметной области, знаний экспертов, распределенной сцены решения ЗПР, а также определить механизмы адаптации ПрО и средства коммуникации экспертов.

Кроме того, использование методологии HLA позволило построить модель ПрО, которая удовлетворяет основным принципам эталонных архитектур: модульность, совместимость, разделение ответственностей. Адаптивность модели обеспечивается возможностью динамически изменять состав федерации. Последнее достигается путем включения или исключения федератов, соответствующих объектной модели федерации.

Тертья глава посвящена алгоритмическим проблемам, связанным с построением сцены, структурной и информационной адаптацией ПрО, приобретением знаний и оценкой уровня готовности ПрО.

В частности, предложен алгоритм построения сцены с одним центром и распределенным составом акторов-экспертов. На вход алгоритма поступают реквизиты центра и экспертов, роли акторов, матрица разрешений. Алгоритм идентифицирует акторов в глобальной среде, реализует механизм управления разрешениями на выполнение операций по модификации структуры и контента ПрО. Это обеспечивает адаптивное поведение акторов, гарантирует подтвержденную компетентность знаний и защиту от использования устаревших решений.

Для разработки алгоритмов структурной и информационной адаптации предложено представление атрибутированного дерева в виде таблицы задач и замыканий. Для этого используется метод Closure Table, основанный на транзитивном замыкании графа. Реляционное отношение Closure представлено тройкой предикатов $\langle ancestor, descendant, depth \rangle$, где *ancestor* – задача-предок, *descendant* – задача-потомок, *depth* – уровень вложенности (рисунок 3). Такое представление позволяет хранить в отдельных структурах данные о вершинах дерева (mod_{inf}) и иерархию задач (mod_{str}). Это в свою очередь упрощает реали-

зацию и повышает производительность алгоритмов модификации составляющих ПрО.

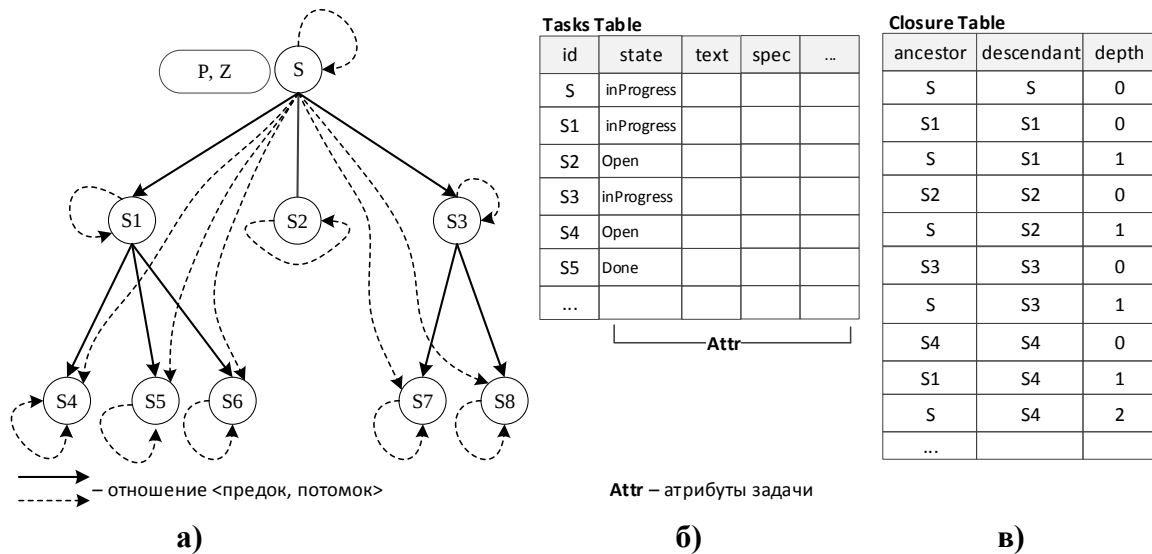


Рисунок 3. – Фрагмент модели ПрО и его представление методом Closure Table:

а) дерево задач; б) таблица задач; в) таблица замыканий

Далее излагается алгоритм, который отображает результат первичной декомпозиции исходной задачи, выполняемой центром, в древовидную структуру. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 4.

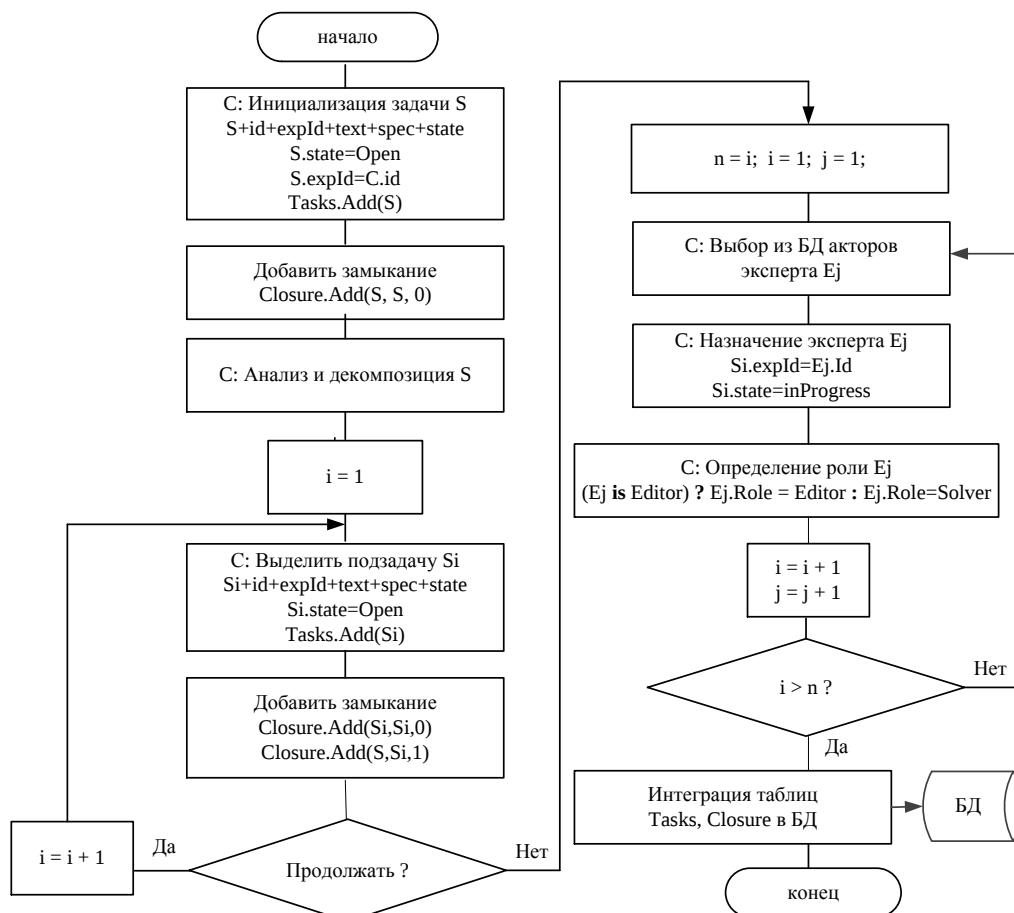


Рисунок 4. – Схема алгоритма построения дерева задач

В результате строится дерево задач (интегрированное в базу данных в виде таблиц задач и замыканий), выполняется атрибуция вершин, назначение экспертов и инициализация ролей.

В данной главе также рассматриваются проблемы, связанные с процессами адаптации. Показано, что в условиях изменчивости среды структура ПрО, основанная на знаниях, может меняться, а контент – устаревать. Кроме этого, некоторые задачи, неразрешимые в рамках компетенций назначенных экспертов, необходимо уточнить или декомпозировать, а значит использовать новых экспертов. Для того чтобы принять решение об адаптации ПрО, необходимо определить уровень ее готовности. Для этого предлагается выполнять оценку неопределенности составляющих ПрО.

Показано, что существующие понятия неопределенности носят крайне общий характер, далеки от конкретных прикладных задач и требуют уточнения в контексте моделирования ПрО. Кроме того, отмечается, что при большом количестве составляющих ручные методы оценки не эффективны.

В работе вводятся понятия структурной A^{str} и информационной A^{inf} неопределенности, задаваемые вектором числовых значений A^t . Последний строится в дискретные моменты времени t на основании наиболее информативных показателей: атрибут state задачи для A^{str} и слоты фрейма Z для A^{inf} . При этом значение элемента вектора 1 определяет максимальную неопределенность показателя, а значение 0 – ее отсутствие. Вектор A^t сравнивается с вектором абсолютной неопределенности A^0 :

$$\begin{aligned} A^0 &= (A^{str\ 0} \mid A^{inf\ 0}) = (1, 1, 1, \dots, 1 \mid 1, 1, 1, \dots, 1) \\ A^t &= (A^{str\ t} \mid A^{inf\ t}) = (1, 0, 0, \dots, 1 \mid 1, 1, 0, \dots, 0) \end{aligned}$$

Количественную оценку структурной (K^{str}) и информационной (K^{inf}) неопределенностей предлагается определять как отношение количества нулевых элементов вектора A^t и единичных элементов вектора A^0 :

$$\begin{aligned} K^{str} &= \frac{A_{(0)}^{str\ t}[1] + A_{(0)}^{str\ t}[2] + \dots + A_{(0)}^{str\ t}[k]}{A_{(1)}^{str\ 0}[1] + A_{(1)}^{str\ 0}[2] + \dots + A_{(1)}^{str\ 0}[n]}, k \leq n. \\ K^{inf} &= \frac{A_{(0)}^{inf\ t}[1] + A_{(0)}^{inf\ t}[2] + \dots + A_{(0)}^{inf\ t}[k]}{A_{(1)}^{inf\ 0}[1] + A_{(1)}^{inf\ 0}[2] + \dots + A_{(1)}^{inf\ 0}[n]}, k \leq n. \end{aligned}$$

Разработан алгоритм оценки уровня готовности ПрО, основанный на построении вектора A^t и вычислении коэффициентов K^{str} , K^{inf} . Это позволяет определить момент начала адаптации ПрО, а также тип неопределенности и локализацию ее источника. В случае, когда оба коэффициента K^{str} и K^{inf} равны единице, неопределенность отсутствует и можно выполнять интеграцию фрагментов экспертных знаний в целевое решение. Иначе выполняется структурная и/или информационная адаптация ПрО.

Разработан комплекс алгоритмов адаптации, основанных на реализации базового набора CRUD-операций над объектами ПрО: Task, Expert, P, Z. Использование паттерна CRUD обеспечило независимость интерфейса модуля адаптации от деталей реализации операций и используемой СУБД.

Структурная адаптация подразумевает модификацию модели ПрО за счет операций добавления и удаления вершин дерева задач и, соответственно, обновления базы данных акторов.

Ниже представлена блок-схема двухфазного алгоритма добавления вершины (рисунок 5). На первой фазе выполняется инициализация новой задачи и соответствующая модификация дерева задач, на второй – назначение подзадачи эксперту и, при необходимости, добавление нового актора, то есть адаптация сцены.

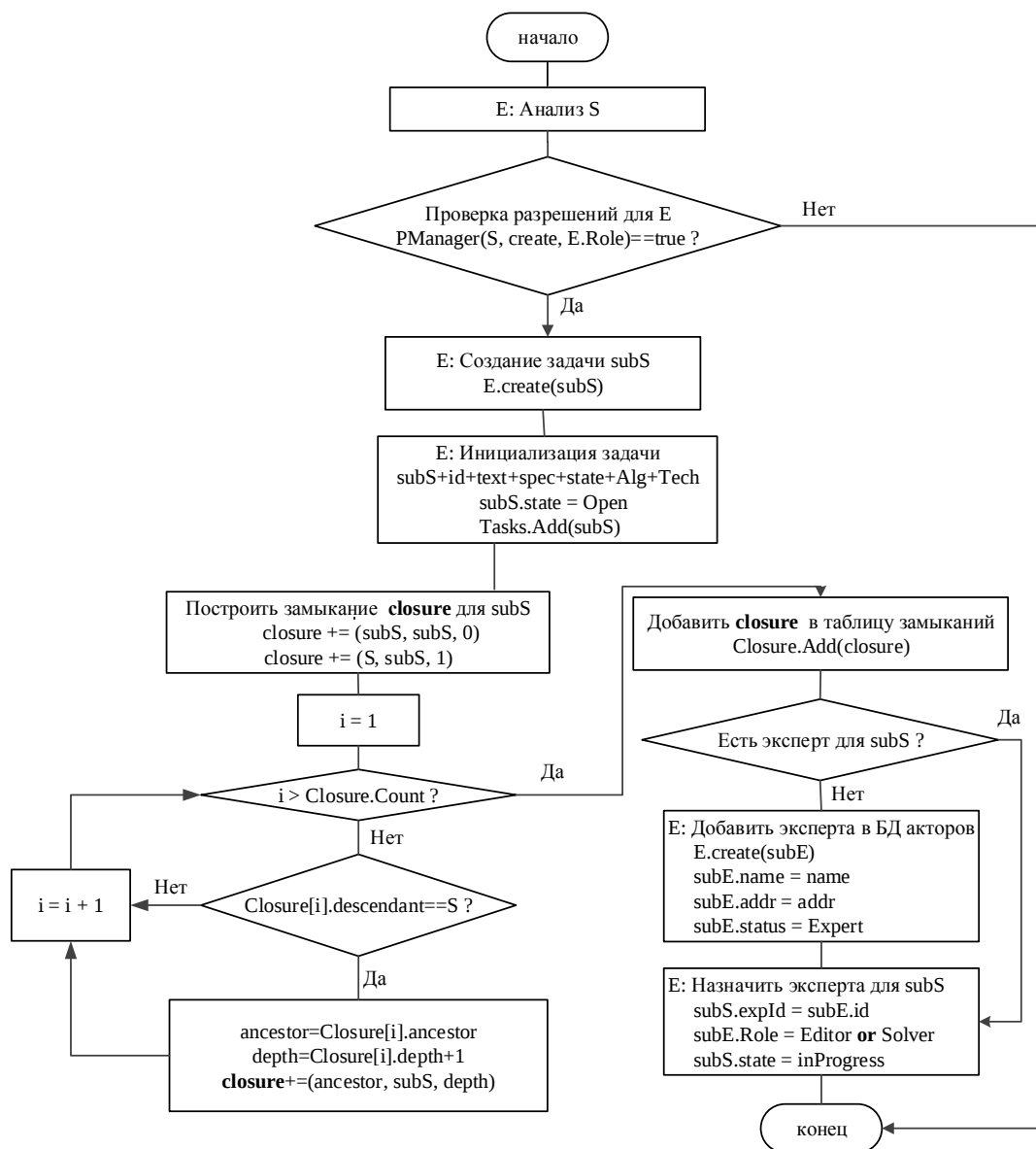


Рисунок 5. – Схема алгоритма добавления вершины

Таким образом, алгоритм реализует возможность эксперта выполнить адаптацию структурной составляющей модели ПрО.

Информационная адаптация ПрО подразумевает необходимость приобретения или обновления экспертных знаний. Показано, что традиционные модели представления знаний ориентированы на однородные знания и заранее известный способ их формализации. Это порождает проблему технологической несовместимости существующих алгоритмов с гетерогенным характером знаний рассматриваемого класса ЗПР. При этом знания могут быть представлены, на усмотрение эксперта, в различных цифровых форматах и коллекцией произвольного размера.

Для устранения статичности, жесткости и однородности известных моделей предложена концепция представления знаний в форме обобщенной динамической коллекции (GKC – generic knowledge collection), реализующей механизмы наследования и полиморфизма. Это позволило интегрировать в одной коллекции произвольное количество разнородных фрагментов знаний и обеспечить единообразный доступ и обработку элементов коллекции.

На основе предложенной концепции разработаны алгоритмы информационной адаптации ПрО (рисунок 6).

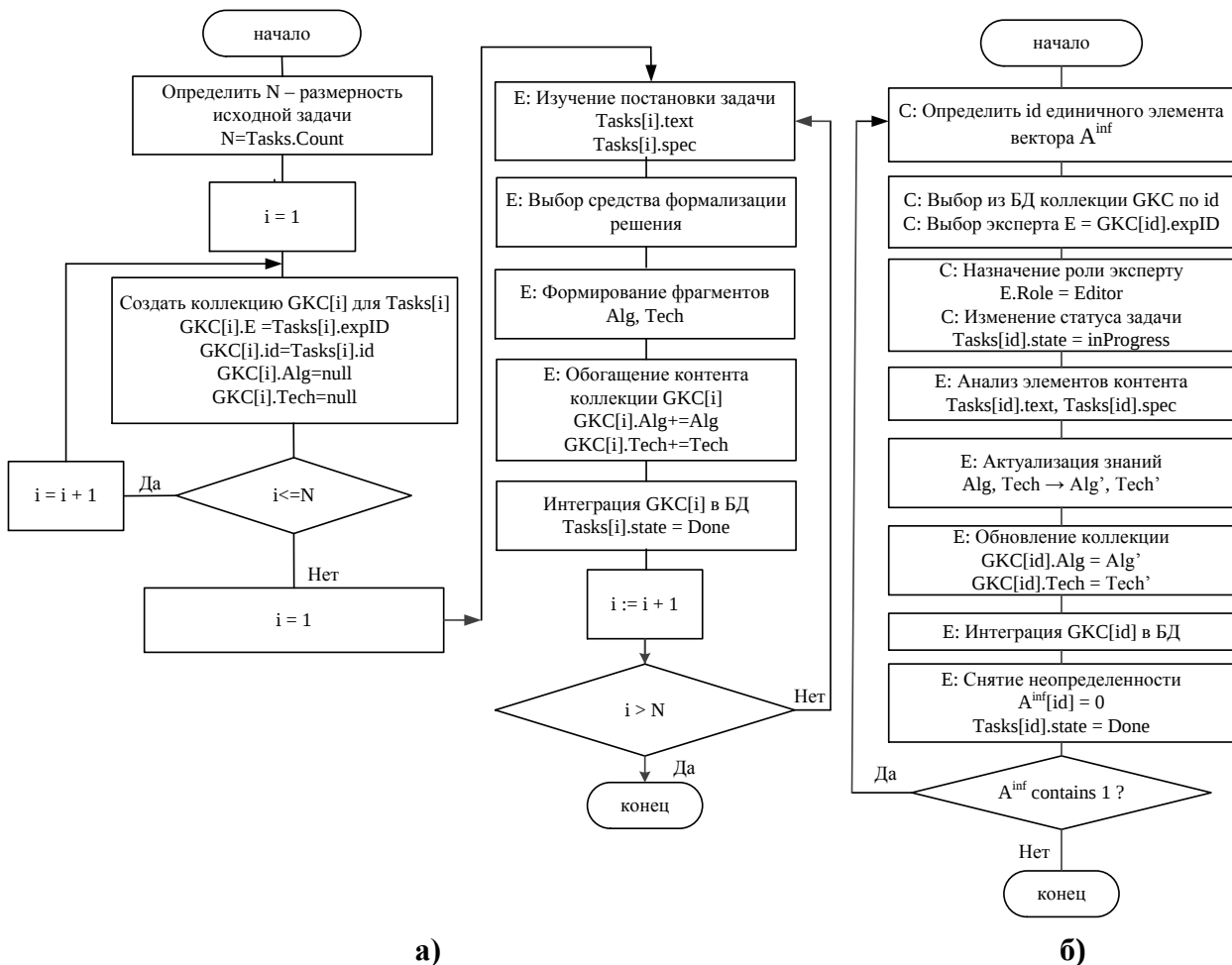


Рисунок 6. – Схема алгоритма приобретения (а) и обновления (б) знаний

В результате работы алгоритмов частично или полностью устраняется информационная неопределенность ПрО. Последняя обогащается формализо-

ванными знаниями, которые при необходимости можно экспортировать во внешние системы (порталы знаний, электронные учебники, CMS, LMS, коллекции алгоритмов и др.).

Локализация неактуальных (устаревших или требующих обновления знаний) производится на основе оценки вектора A^{inf} . При этом единичные элементы соответствуют максимальному значению информационной неопределенности в вершинах дерева, а индексы id этих элементов являются идентификаторами соответствующих задач. Это позволяет получить доступ к коллекции знаний $GKC[id]$, требующей обновления.

Таким образом, предложенные в третьей главе алгоритмы обеспечивают комплексное решение проблемы построения адаптивной ПрО на основе знаний из распределенных экспертных источников.

В четвертой главе описана программная технология для построения АСППР. Проведен анализ литературы и показано, что существующие технологии не позволяют решить поставленную в диссертации задачу. Они эффективны для хорошо формализуемых (плановых и оперативных) ЗПР, и, в большинстве своем, не предлагают решений по сложности и стоимости, приемлемых для практического внедрения.

В диссертации предлагается оригинальное решение проблемы, основанное на концепции распределенного моделирования HLA. Разработаны многоуровневая архитектура системы (в виде так называемой федерации), архитектуры входящих в нее федератов и схема их взаимодействия.

Технология состоит из четырех основных блоков-федератов: Center, Expert, PManager (менеджер разрешений), Validator (валидатор). Свойство автономности федератов позволяет выполнять сборку федераций различной конфигурации и функциональности. Это обеспечивает адаптивность и открытость предложенной архитектуры. Пример архитектуры одного из федератов (рисунок 7) и общая архитектура федерации (рисунок 8) представлены ниже.

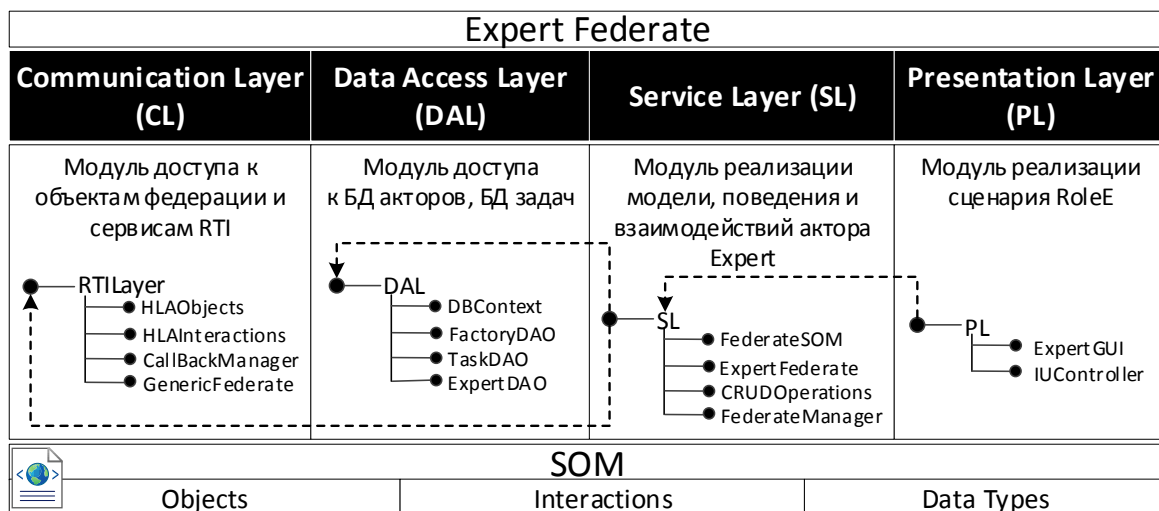


Рисунок 7. – Архитектура федерата Expert

предоставляется доступ к механизму приобретения знаний (федерат Expert) и инструментам адаптации ПрО (рисунок 9).

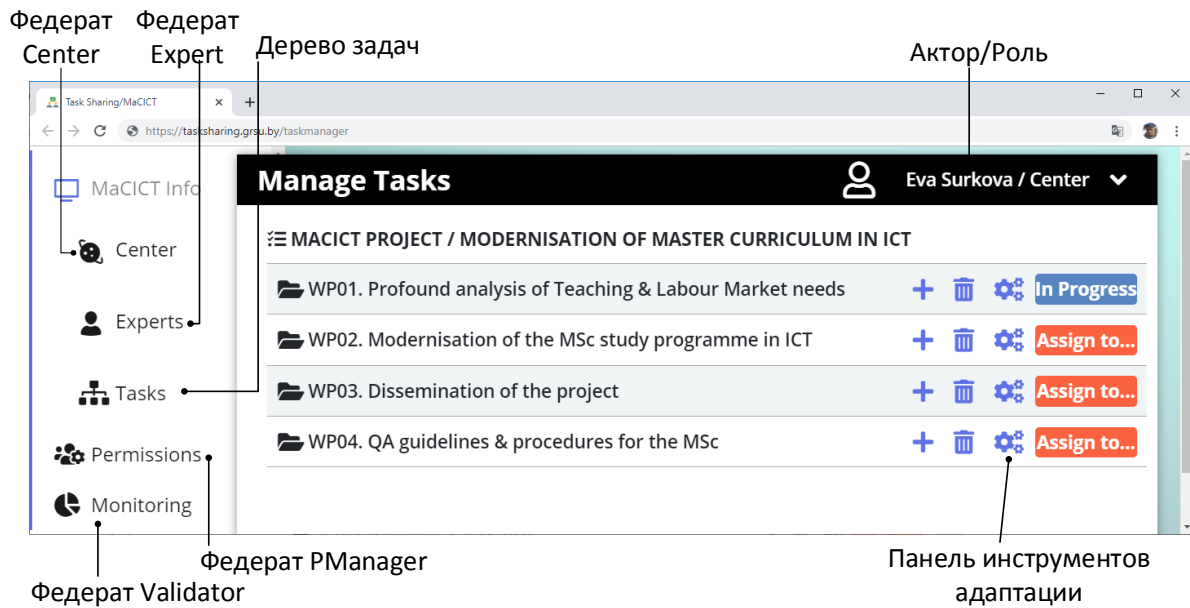


Рисунок 9. – Результат генерации интерфейса АСППР

Принятие решения о готовности ПрО или необходимости адаптации принимается центром на основании визуальной и количественной оценки (федерат Validator) структурной и информационной неопределенности.

На заключительном этапе выполняется интеграция коллекций знаний и публикация итогового решения (федерат Center). В решение включается XML-файл метаданных, содержащий информацию о каждой задаче, экспертах, а также имена файлов коллекции (рисунок 10).

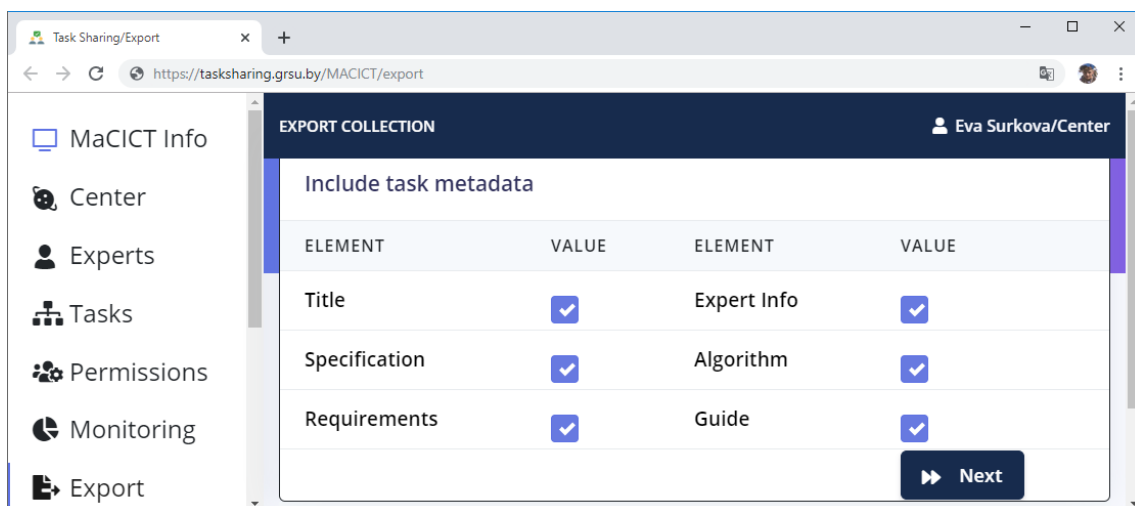


Рисунок 10. – Настройка параметров экспорта

Таким образом, показано, что программная технология обеспечивает поддержку полного жизненного цикла АСППР от постановки задачи до получения целевого решения, включая возможность адаптации ПрО к изменениям среды решения задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана многокомпонентная адаптивная модель предметной области, основанная на представлении ее в виде структурной, информационной, алгоритмической и технологической составляющих. Объединение разделяемых составляющих с соблюдением принципов модульности, совместимости и разделения ответственностей позволило устранить жесткость существующих монолитных моделей ПрО и определить механизмы независимой адаптации ее составляющих [1, 9, 12, 13, 14, 21].

2. Разработана методология построения модели ПрО, основанная на синтезе структурных, объектно-ориентированных, распределенных методологий, что позволило в рамках единого подхода решить проблему моделирования структуры ПрО, знаний экспертов, распределенной сцены решения ЗПР, а также определить средства коммуникации экспертов [3, 6, 8, 10, 21].

3. Разработаны алгоритмы адаптации ПрО, основанные на транзитивном замыкании графа и базовом наборе CRUD-операций, что позволило упростить реализацию алгоритмов, унифицировать интерфейс модуля адаптации и обеспечить независимость его реализации от используемой СУБД [2, 5, 7, 11, 12, 15, 16, 17, 22].

4. Разработана технология построения АСППР, основанная на интеграции технологии построения высокоуровневых архитектур (HLA) и технологий разработки веб-приложений, что позволило за счет возможности использования свободно распространяемых библиотек сократить время разработки программных систем и увеличить их жизненный цикл в целом [4, 6, 8, 18, 19, 20, 21].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные модели, алгоритмы и программная технология могут использоваться для построения компьютерных систем, обеспечивающих поддержку реализации проектов распределенными исполнителями и принятие решений в быстро изменяющихся предметных областях (информационные технологии, образование, медицина, и др; 1 акт о внедрении в Центре трансфера технологий ГрГУ). На основе предложенной технологии создано программное обеспечение для поддержки решений при выполнении международных образовательных проектов (используется в Центре интернационализации образования ГрГУ; 1 акт о внедрении). Модели и алгоритмы построения адаптивной ПрО используются на предприятии ООО «ДЕВКРАФТ» для разработки отдельных модулей программных систем (1 акт о внедрении), а также в учебном процессе кафедры СТП ГрГУ им. Я. Купалы (1 акт о внедрении).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных изданиях в соответствии с п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь

1. Карканица, А.В. Онтологический подход к построению моделей динамических предметных областей / А.В. Карканица // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і ўпраўленне. Біялогія. – 2010. – № 1(92). – С. 92–97.
2. Краснопрошин, В.В. Алгоритмы модификации деревьев для построения динамических предметных областей / В.В. Краснопрошин, А.В. Карканица // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 388–394.
3. Карканица, А.В. Построение динамической модели предметной области для решения сложно структурированных задач / А.В. Карканица // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2010. – № 5(62). – С. 73–78.
4. Краснопрошин, В.В. Технология построения динамических предметных областей на основе графовых моделей / В.В. Краснопрошин, А.В. Карканица // Искусственный интеллект. – 2011. – № 3. – С. 355–362.
5. Karkanitca, A. Distributed knowledge acquisition for constructing decision support systems / A. Karkanitca // Lectures on Modeling and Simulation. Special Issue of International Association AMSE. – Lyon : France, 2012. – P. 56–62.
6. Карканица, А.В. Метод построения динамических предметных областей на основе стандарта моделирования High Level Architecture / А.В. Карканица // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. – 2016. – Т. 6, № 3. – С. 124–132.
7. Карканица, А.В. Оценка неопределенности в адаптивных системах принятия решений / А.В. Карканица // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия «Физика, математика, информатика». – 2017. – № 5. – С. 17–20.
8. Карканица, А.В. Моделирование предметных областей для адаптивных систем поддержки принятия решений / А.В. Карканица, В.В. Краснопрошин // Штучний інтелект. – 2018. – № 2(80). – С. 83–93.

Статьи в других научных изданиях

9. Карканица, А.В. Моделирование многоуровневых информационных систем корпоративного типа / А.В. Карканица // Современные информационные

компьютерные технологии : сб. науч. ст. в 2 ч. / редкол.: А.М. Кадан [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2008. – Ч. 2. – С. 209–213.

10. Карканица, А.В. Методология построения модели динамической распределенной предметной области / А.В. Карканица // Информационные технологии и программные средства: проектирование, разработка и применение : сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: Л.В. Рудикова (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2011. – С. 183–185.

11. Краснопрошин, В.В. Язык описания динамической предметной области на основе Directed Graph Markup Language / В.В. Краснопрошин, А.В. Карканица // Технологии информатизации и управления: сб. науч. ст. / редкол.: А.М. Кадан (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2011. – Вып. 2. – С. 39–42.

12. Карканица, А.В. Разработка предметно-ориентированного языка для построения динамических предметных областей / А.В. Карканица, В.В. Краснопрошин // Информационные компьютерные технологии: проектирование, разработка, применение : сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: А.М. Кадан (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2013. – С. 38–41.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

13. Карканица, А.В. Решение сложно структурированных задач распределенными группами исполнителей / А.В. Карканица // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы XII Республиканской науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 16-18 марта 2009 г. : в 2 ч. / редкол.: О.М. Демиденко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – Ч. 1. – С. 30–31.

14. Карканица, А.В. Реализация программного компонента построения графовой модели динамической предметной области / А.В. Карканица // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии : материалы Междунар. науч. конгр., Минск, 31 окт. – 3 нояб. 2011 г. : в 2 ч. / редкол.: С.В. Абламейко (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2011. – Ч. 2. – С. 170–175.

15. Karkanitca, A. Development of Dynamic Subject Domain Based on Distributed Expert Knowledge / A. Karkanitca // Modeling and Simulation MS'2012 : Proc. of the Intern. Conf., Minsk, Belarus, 2–4 May 2012 / editors: V. Krasnoproshin, A.M. Gil Lafuente. – Minsk : Publ. Center of BSU, 2012. – С. 137–139.

16. Karkanitsa, H. Combined Method of Knowledge Acquisition for Constructing DMSS [Electronic resource] / H. Karkanitsa, N. Dzeyeva // Proceedings of the 3rd World Conference on Information Technology (WCIT-2012), Barcelona, Spain,

14–16 November 2012 / University of Barcelona. – Barcelona, 2012. – Mode of access : <http://archives.sproc.org/index.php/P-ITCS/article/view/1810/1600>. – Date of access : 06.10.2019.

17. Karkanitsa, H. Development of domain-specific language for constructing dynamic subject domains / H. Karkanitsa // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2014) : Proc. of the 12th Intern. Conf., Minsk, Belarus, 28–30 May 2014 / editors: A. Tuzikov, V. Kovalev. – Minsk : UIIP NASB, 2014. – P. 94–97.

18. Карканица, А.В. Разработка WEB-ориентированного HLA-федерата для решения задачи приобретения распределенных экспертных знаний / А.В. Карканица // Веб-программирование и интернет-технологии WebConf 2015 : материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12–14 мая 2015 г. – Минск : Издательский центр БГУ, 2015. – С. 34.

19. Карканица, А.В. Проектирование систем поддержки принятия решений на основе HLA-технологии [Электронный ресурс] / А.В. Карканица // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии : материалы Междунар. науч. конгр., Минск, 24–27 окт. 2016 г. / редкол.: С.В. Абламейко (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 937–941. – (Электронная библиотека БГУ).

20. Karkanitsa, A. Decision Support System Based on High Level Architecture / A. Karkanitsa // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2016) : Proc. of the 13th Intern. Conf., Minsk, Belarus, 3–5 October 2016 / editors: S. Ablameyko, V. Krasnoproshin. – Minsk : Publ. Center of BSU, 2016. – P. 213–217.

21. Karkanitsa, H. Adaptive Decision Support Systems / H. Karkanitsa // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2019) : Proc. of the 14th Intern. Conf., Minsk, Belarus, 21–23 May 2019. – Minsk : Bestprint, 2019. – P. 342–345.

Тезисы

22. Карканица, А.В. Язык реализации графовой модели динамической предметной области / А.В. Карканица // Крымская международная математическая конференция (КММК-2013) : сборник тезисов, Судак, Украина, 22 сент. – 4 окт. 2013 г. / редкол.: Н.Д. Копачевский (гл. ред.) [и др.]. – Симферополь : КНЦ НАНУ, 2013. – Т. 3. – С. 37–38.

РЕЗЮМЕ

Карканица Анна Викторовна

«Модели, алгоритмы и технология построения
адаптивных систем поддержки принятия решений»

Ключевые слова: принятие решений, адаптивные системы поддержки принятия решений, алгоритмы адаптации, распределенная федерация.

Цель работы. Разработка моделей, алгоритмов и технологии для построения адаптивных систем поддержки принятия решений (АСППР) на основе знаний из распределенных экспертных источников.

Методы исследования. Теория принятия решений, общая теория систем, теория графов, инженерия знаний, методы распределенного моделирования, программная инженерия.

Полученные результаты и их новизна. В диссертации разработаны модели, алгоритмы и технология для построения адаптивных систем поддержки принятия решений.

Предложена оригинальная многокомпонентная модель предметной области, основанная на ее представлении в виде структурной, информационной, алгоритмической и технологической составляющих и механизмы их независимой адаптации к условиям решения задачи.

Разработана методология построения модели, основанная на синтезе структурных, объектно-ориентированных, распределенных методологий, что позволило в рамках единого подхода решить проблему моделирования структуры предметной области, знаний экспертов, распределенной сцены и определить средства коммуникации экспертов.

Разработана технология построения АСППР, основанная на интеграции технологии построения высокоуровневых архитектур (HLA) и технологий разработки веб-приложений, что позволило за счет использования свободно расширяемых библиотек сократить время разработки программных систем и увеличить их жизненный цикл в целом.

Рекомендации по использованию. Разработанные модели, алгоритмы, архитектура и программная технология могут использоваться для построения компьютерных систем, обеспечивающих поддержку принятия решений при выполнении совместных проектов распределенными группами исполнителей.

Область применения. Полученные результаты могут использоваться для построения АСППР, обеспечивающих совместную работу экспертных групп для принятия решений и формирования актуальных коллекций знаний в быстро изменяющихся предметных областях (информационные технологии, образование, медицина, и др.).

РЭЗЮМЭ

Карканіца Ганна Віктараўна

«Мадэлі, алгарытмы і тэхналогія пабудовы
адаптыўных сістэм падтрымкі прыняцця рашэнняў»

Ключавыя словы: прыняцце рашэнняў, адаптыўныя сістэмы падтрымкі прыняцця рашэнняў, алгарытмы адаптацыі, размеркаваная федэрацыя.

Мэта працы. Распрацоўка мадэляў, алгарытмаў і тэхналогіі для пабудовы адаптыўных сістэм падтрымкі прыняцця рашэнняў (АСППР) на аснове ведаў з размеркаваных экспертных крыніц.

Метады даследвання. Тэорыя прыняцця рашэнняў, агульная тэорыя сістэм, тэорыя графаў, інжынерныя ведаў, метады размеркаванага мадэлявання, праграмавая інжынерныя.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. У дысертацыі распрацаваны мадэлі, алгарытмы і тэхналогія для пабудовы адаптыўных сістэм падтрымкі прыняцця рашэнняў.

Прапанавана арыгінальная шматкампанентная мадэль прадметнай вобласці, заснаваная на яе прадстаўленні ў выглядзе структурнай, інфармацыйнай, алгарытмічнай і тэхналагічнай частак і механізмы незалежнай іх адаптацыі да ўмоў рашэння задачы.

Распрацавана метадалогія пабудовы мадэлі, заснаваная на сінтэзе структурных, аб'ектна-арыентаваных, размеркаваных метадалогій, што дазволіла ў рамках адзінага падыходу вырашыць праблему мадэлявання структуры прадметнай вобласці, ведаў экспертаў, размеркаванай сцэны і вызначыць сродкі камунікацыі экспертаў.

Распрацавана тэхналогія пабудовы АСППР, заснаваная на інтэграцыі тэхналогіі пабудовы высокаўзроўневых архітэктур (HLA) і тэхналогій распрацоўкі вэб-аплікацыяў, што дазволіла за кошт выкарыстання вольна распаўсюджваных бібліятэк скараціць час распрацоўкі праграмных сістэм і павялічыць іх жыццёвы цыкл у цэлым.

Рэкамендацыі па выкарыстанню. Распрацаваныя мадэлі, алгарытмы, архітэктурна і праграмавая тэхналогія могуць выкарыстоўвацца для пабудовы камп'ютэрных сістэм, якія забяспечваюць падтрымку прыняцця рашэнняў пры рэалізацыі сумесных праектаў размеркаванымі групамі выканаўцаў.

Вобласць ужывання. Атрыманыя вынікі могуць выкарыстоўвацца для пабудовы АСППР, якія забяспечваюць сумесную працу экспертных груп для прыняцця рашэнняў і фарміравання актуальных калекцый ведаў у інтэнсіўна зменлівых прадметных абласцях (інфармацыйныя тэхналогіі, адукацыя, медыцына, і інш.).

SUMMARY

Karkanitsa Anna Viktorovna

«Models, algorithms and technology for constructing
adaptive decision support systems»

Keywords: decision making, adaptive decision support systems, adaptation algorithms, distributed federation.

The purpose of the research. Development of models, algorithms and technology for constructing adaptive decision support systems (ADSS) based on knowledge from distributed expert sources.

Research methods. Decision making theory, general systems theory, graph theory, knowledge engineering, distributed modeling methods, software engineering.

The obtained results and their novelty. Models, algorithms and technology for constructing adaptive decision support systems are developed.

An original multicomponent model of the subject domain based on its representation in the form of structural, informational, algorithmic and technological components along with mechanisms of independent adaptation of the components to the conditions of solving the problem are proposed.

A model constructing methodology based on a synthesis of structural, object-oriented, distributed methodologies was developed. Within a single approach the methodology allows solving the problem of modeling the structure of the subject domain, expert knowledge, distributed scene and determining the means of communications between experts.

A technology for constructing ADSS was developed based on the integration of High Level Architecture (HLA) technology and web application development technologies, which allows reducing the time of software systems development and increasing their life cycle through the use of freely distributed libraries.

Usage recommendation. The developed models, algorithms, architecture and software technology can be used to build computer systems that provide decision support for the implementation of joint projects by distributed groups of performers.

Application area. The obtained results can be used to build ADSS, ensuring the joint work of expert groups for decision-making and the formation of actual knowledge collections in rapidly changing subject areas (information technology, education, medicine, etc.).