

*На правах рукописи*

**ЗИНЧЕНКО Роман Егорович**

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ  
ПОДДЕРЖКИ СИСТЕМНОГО ИЗОМОРФИЗМА  
КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ  
ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И БАЗЫ ДАННЫХ**

Специальность 05.13.17 – Теоретические основы  
информатики

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

**Пенза 2011**

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Пензенский государственный педагогический университет имени В. Г. Белинского».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
**ДРОЖДИН Владимир Викторович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**ЯКИМОВ Александр Николаевич;**  
кандидат технических наук, доцент  
**ПИКУЛИН Василий Васильевич**

Ведущая организация: **Научно-исследовательский институт  
физических измерений**

Защита состоится 7 апреля 2011 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.212.186.01 при ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет» по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет» и на сайте университета <http://www.pnzgu.ru>.

Автореферат разослан 4 марта 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор

Е. И. Гурин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Автоматизированные информационные системы (АИС) нашли широкое применение в различных областях деятельности человека. Современные АИС являются пассивными системами, не способными в процессе функционирования модифицироваться пользователями для учета особенностей предметной области и самостоятельно оптимизировать организацию и обработку данных. Вследствие этого они обладают рядом существенных недостатков: модель предметной области (ПрО) часто представляется в форме внешней схемы базы данных (БД), реализованной в рамках даталогической модели данных, ориентированной на внутреннюю обработку информации; требуется сложный и трудоемкий процесс проектирования и создания АИС для учета различных ситуаций, возникающих в процессе решения задачи информационного обслуживания.

Для учета специфики ПрО и повышения эффективности использования АИС целесообразно:

1) возложить часть проектирования системы на самих пользователей, обладающих хорошими знаниями о предметной области, что позволит обеспечить высокую адекватность ПрО;

2) более полно учитывать семантику ПрО в информационной модели и обеспечивать высокую эффективность обработки данных, что делает целесообразным использование моделей разных типов для отражения ПрО и организации базы данных.

Высокая сложность предметных областей и решаемых задач не позволяет быстро и за одну итерацию создавать хорошие информационные системы, поэтому они проектируются и создаются поэтапно, что часто требует доработки уже используемых подсистем. С другой стороны, в процессе эксплуатации АИС постепенно уменьшается ее адекватность внешней среде, вследствие изменения среды и решаемых задач, а модель ПрО фиксирована в системе. Это снижает качество удовлетворения информационных потребностей пользователей и требует изменения системы.

Таким образом, тесная взаимосвязь модели ПрО и БД на основе их статического соответствия требует больших затрат на модификацию системы в случае изменения модели ПрО или БД.

Для удобства преобразования информации из реляционной БД в объектную форму в прикладных программах часто используют системы объектно-реляционного отображения, или ORM-системы (Object-Relational Mapping). Применение технологии ORM при разработке АИС позволяет

абстрагировать бизнес-логику и интерфейс пользователя от источника данных, что делает программное приложение относительно независимым от используемой системы управления базами данных (СУБД). Однако существующие реализации технологии ORM не предполагают динамической адаптации механизма объектно-реляционного отображения к изменению внешней среды, т.е. к изменению схемы объектной модели слоя бизнес-логики и/или схемы БД.

Повышение эффективности создания АИС осуществляется на основе использования CASE-технологий (Computer-Aided Software Engineering), реализующих инструментальную поддержку технологии проектирования и позволяющих создавать программные приложения с использованием парадигмы модельно-ориентированной разработки MDD (Model Driven Development). Применение CASE-технологий обеспечивает стандартизацию процесса разработки АИС и снижает трудоемкость сопровождения программных приложений. Однако сложность CASE-средств позволяет выполнять изменение программной системы в процессе эксплуатации только ее разработчиками. Следовательно, технологии CASE и MDD, упрощая разработку АИС, не решают проблему их эволюции в процессе эксплуатации.

Следовательно, трансляция концептуальной модели ПрО в БД с применением технологий ORM и CASE недостаточно эффективна для поддержки функционирования эволюционных АИС.

Рассматриваемым вопросам большое внимание уделяли Дж. Мартин, Д. Ульман, К. Дейт, Э. Кодд, М. Ш. Цаленко, М. Р. Когаловский, Т. В. Гавриленко и др. Однако проблема логической и физической независимости данных в полном объеме не решена до настоящего времени.

Поэтому одной из важнейших задач создания дружественных (ориентированных на конкретных пользователей) АИС с высокой эффективностью обработки данных является реализация динамического соответствия модели ПрО и БД.

**Объектом исследования** являются процессы согласования концептуальной модели ПрО и БД при их независимых изменениях.

**Предметом исследования** являются способы эффективного отображения концептуальной модели ПрО в БД.

**Цель работы** заключается в создании модели динамической поддержки соответствия концептуальной модели ПрО и БД в форме системного изоморфизма и алгоритмов, обеспечивающих ее эффективную реализацию.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Анализ существующих моделей отображения концептуальной модели предметной области в базу данных.

2. Разработка модели динамической поддержки соответствия концептуальной модели предметной области и базы данных в форме системного изоморфизма.

3. Разработка способа динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных на основе системы базовых SQL-запросов.

4. Разработка алгоритмов динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных.

5. Разработка структуры программного компонента, реализующего модель динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных.

6. Разработка структурной модели информационной системы, использующей динамическую поддержку соответствия концептуальной модели предметной области и базы данных в форме системного изоморфизма.

**Методы исследования.** В процессе исследования использовались положения теории систем, дискретной математики, теории множеств, алгебраических систем, математической логики, теоретических основ информатики и баз данных.

**Научная новизна:**

1. Предложено включить формализованную концептуальную модель предметной области в структуру АИС. Это обеспечит взаимодействие пользователей с АИС на семантическом уровне и позволит создавать и модифицировать систему в процессе функционирования без разработки новых и модификации существующих приложений.

2. В отличие от известных статических моделей соответствия концептуальной модели предметной области и базы данных в форме математического изоморфизма предложено и обосновано использование соответствия в форме системного изоморфизма, позволяющего АИС содержать в базе данных дополнительную информацию, что предоставляет возможность приобретения системой новых функций, например, создание и поддержка базы данных самой АИС, динамическое согласование модели предметной области и базы данных.

3. Впервые предложена логическая модель динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных, определяющая корректное функционирование АИС при независимых изменениях модели предметной области и базы данных.

4. Предложен способ динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных на основе системы базовых SQL-запросов, позволяющий использовать для ведения базы данных существующие СУБД и обеспечивать эффективность обработки данных без снижения быстродействия, обеспечиваемого СУБД.

5. Разработаны алгоритмы поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных, позволяющие восстанавливать его при нарушениях вследствие независимых модификаций модели предметной области и базы данных.

6. Предложена структура информационной системы с динамической поддержкой соответствия концептуальной модели предметной области и базы данных в форме системного изоморфизма, впервые позволяющая пользователям модифицировать АИС в процессе ее функционирования, что обеспечивает высокую адекватность системы внешней среде и увеличивает срок ее эксплуатации.

**Теоретическая ценность.** Предложенная логическая модель и алгоритмы динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД обеспечивают их независимые изменения с сохранением целостности системы, что является существенным шагом к созданию самоорганизующихся информационных систем.

**Практическая ценность.** Разработанная структура программно-информационного компонента динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных обеспечивает автоматическую корректировку их соответствия в реальном времени, что позволяет осуществлять разработку АИС без создания новых приложений и снижает время и затраты на их создание и сопровождение.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Логическая модель динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных, определяющая корректное функционирование АИС при независимых изменениях модели предметной области и базы данных.

2. Способ динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных на основе системы базовых SQL-запросов, позволяющий использовать существующие СУБД и осуществлять эффективную обработку данных в АИС.

3. Алгоритмы поддержки системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных, позволяющие автоматически содержать систему базовых SQL-запросов и базу данных АИС в актуальном состоянии.

4. Структурная модель информационной системы с динамической поддержкой системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и базы данных, позволяющая пользователям создавать АИС и модифицировать ее в процессе эксплуатации.

**Внедрение результатов работы.** Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, использованы:

– в научно-исследовательской работе по теме «Разработка модели самоорганизующейся информационной среды», выполненной Пензенским государственным педагогическим университетом имени В. Г. Белинского в 2008–2010 гг. по тематическому плану Федерального агентства по образованию;

– в разработке подсистемы организации и обработки данных систем видеонаблюдения ООО НПФ «ГЕМУС»;

– в научно-исследовательской работе по теме «Развитие и актуализация информационной системы оценки качества подготовки студентов вузов по дисциплине «Русский язык и культура речи», выполненной Пензенским государственным педагогическим университетом имени В. Г. Белинского в 2008–2010 гг. по Государственному контракту № П46 от 09.04.2008 г.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались:

– на VI, VII, VIII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике» (г. Пенза, 2006, 2007, 2008);

– на II Международной научно-практической конференции «Инновации в управлении и образовании: технико-технологические и методические аспекты» (г. Тула, 2009);

– на IX Международной научно-технической конференции «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике», посвященной 70-летию Пензенского государственного педагогического университета имени В. Г. Белинского (г. Пенза, 2009).

**Публикации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 13 печатных работах автора, 5 из которых в журналах, рекомендованных ВАК России.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 129 наименований. Работа содержит 140 страниц основного текста, 38 рисунков, 3 таблицы, 2 приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации; сформулирована цель и определены задачи исследования; показана научная новизна и практическая ценность полученных результатов; приведены сведения об апробации и внедрении работы.

**Первая глава** посвящена эволюции архитектуры АИС, анализу концептуального моделирования ПрО и методам отображения модели ПрО в БД, используемых в существующих АИС.

Эволюция архитектуры АИС осуществляется в направлении повышения ее гибкости и обеспечения длительной адекватности внешней среде.

Анализ концептуального моделирования ПрО показывает, что наиболее широко для моделирования ПрО используются ER-модель П. Чена, семантические сети, объектная модель, модель потоков данных и др. Все эти модели являются преимущественно логическими и отражают определенные стороны объектов и их взаимодействие в ПрО. Необходимость отражения сложных ПрО требует максимального учета в концептуальной модели семантики ПрО.

Для организации и обработки данных используются как традиционные иерархическая, сетевая и реляционная, так и достаточно новые объектная, многомерная и другие модели данных. Ориентация моделей данных на обработку информации требует их эффективной реализации.

Учитывая разные цели концептуальной модели и модели данных, что проявляется в различном представлении одной и той же ПрО, при создании АИС возникает задача согласования и установления соответствия между этими моделями, обеспечивающего возможность их независимых изменений и корректную обработку данных в системе.

**Во второй главе** осуществляется разработка модели динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД и организации АИС, использующей соответствие такого типа.



На основе системного подхода предполагается, что концептуальная модель ПрО и БД являются относительно самостоятельными системами, между которыми устанавливается определенное соответствие.

В существующих АИС принято статическое изоморфное соответствие концептуальной модели ПрО и БД, требующее полного отображения концептуальной модели ПрО в БД, и наоборот. Динамическая поддержка изоморфного соответствия является очень трудоемкой, поэтому в существующих АИС используется именно статическое соответствие, устанавливаемое на этапе проектирования системы, а изменение концептуальной модели ПрО и/или БД требует перепроектирования АИС и приводит к существенным изменениям программного обеспечения системы.

Однако статическое изоморфное соответствие концептуальной модели ПрО и БД неприемлемо для АИС, в которых эти подсистемы могут изменяться относительно независимо (эволюционировать), а система должна самостоятельно поддерживать соответствие между ними.

В работе впервые предлагается использовать динамическую поддержку соответствия концептуальной модели ПрО и БД в форме системного изоморфизма, обеспечивающего полное отображение концептуальной модели ПрО в БД и частичное отображение БД в концептуальную модель ПрО. Системный изоморфизм введен Ю. А. Урманцевым как обладающее свойствами рефлексивности и симметричности отношение между объектами-системами одной и той же или разных R-систем (систем объектов данного рода). Поэтому пользователь полностью получит из АИС информацию о реальном мире в соответствии со своим представлением, что обеспечивает логическую корректность системы, а система может содержать некоторую дополнительную информацию, которая не будет «видна» извне:

- информацию об отложенных модификациях БД при удалении из концептуальной модели ПрО различных понятий и отношений;

- информацию об объектах внешней среды, взаимодействующих с системой, и отношениях между ними, воспринимаемую и накапливаемую системой самостоятельно;

- закономерности (знания) о поведении внешней среды и функционировании системы, вырабатываемые системой самостоятельно и используемые для повышения корректности, надежности и эффективности ее функционирования.

Динамическая поддержка модели соответствия в форме системного изоморфизма определяет:

- начальное отображение концептуальной модели ПрО в БД;
- формирование отображения концептуальной модели ПрО в БД, представленную в третьей нормальной форме (ЗНФ);
- модификацию отображения концептуальной модели ПрО в БД при их независимых изменениях.

В качестве механизма, обеспечивающего динамическую поддержку системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД, предлагается система базовых SQL-запросов, ставящая в соответствие каждому понятию модели ПрО множество объектов, содержащихся в БД.

Концептуальную модель ПрО графически можно представить в виде, приведенном на рисунке 1, где  $O_i^j$  –  $i$ -й компонент уровня  $j$ , включающий в себя хотя бы один объект уровня  $j - 1$  и, возможно, объекты более низких уровней  $j - 2, j - 3, \dots$ , а также собственные свойства.

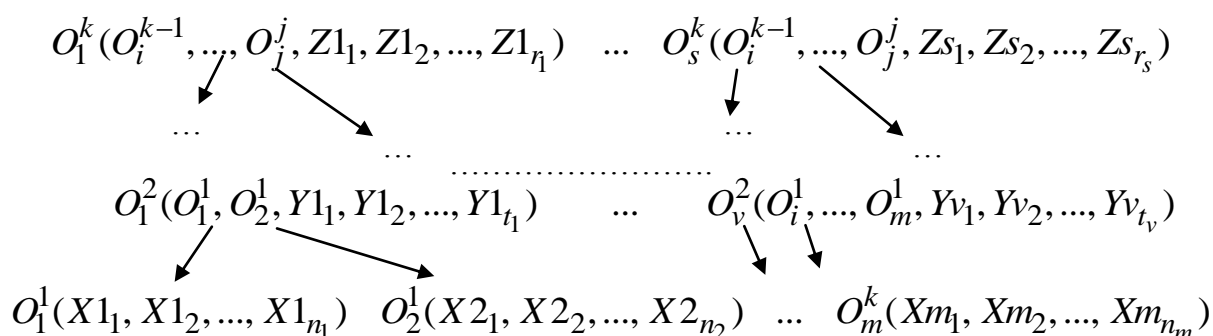


Рисунок 1 – Графическое представление концептуальной модели ПрО

Формальное описание концептуальной модели ПрО включает определение понятий и отношений между понятиями.

*Понятия*, представляющие различные типы объектов ПрО:

$$V = \{v \mid v = \langle n_v, v_s, v_c \rangle\},$$

где  $V$  – множество всех понятий модели ПрО;  $n_v$  – имя понятия;  $v_s$  – состав понятия;  $v_c$  – содержание понятия.

Между понятиями определяются *отношения* в виде

$$R_v = \{r_v \mid r_v = \langle v_1, v_2, n_r, t_{rv} \rangle\},$$

где  $R_v$  – совокупность различных отношений между всеми понятиями ПрО;  $r_v$  – отношение типа  $t_{rv}$  между понятиями  $v_1$  и  $v_2$ ;  $n_r$  – имя отношения;  $t_{rv}$  – тип отношения: агрегация (часть-целое) – понятие  $v_2$  является компонен-

том (частью) понятия-агрегата  $v_1$ ; классификация – понятие  $v_2$  является подклассом класса  $v_1$ ; обобщение (род-вид) – каждое видовое понятие  $v_2$  является категорией родового понятия  $v_1$ ; абстрагирование – понятие  $v_2$  является конкретизацией понятия-образа  $v_1$ .

Тогда концептуальная модель ПрО имеет вид

$$\mathcal{M} = (V, R_v).$$

Формальное описание БД задается совокупностью составляющих его отношений.

Схема отношения:

$$R_i = \{a_1, a_2, \dots, a_n\},$$

где  $a_j$  – имя атрибута,  $1 \leq j \leq n$ .

Каждый атрибут  $a_j$  определен на домене  $D_\ell$ :

$$D_\ell = \text{dom}(a_j), D = \{D_1, D_2, \dots, D_L\}, 1 \leq \ell \leq L.$$

Отношение  $r_i$  со схемой  $R_i$ :

$$r_i \subseteq D_{i1} \times D_{i2} \times \dots \times D_{in}.$$

Ключ отношения  $r_i$  со схемой  $R_i$ :

$$K_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\} \subseteq R_i,$$

$$\text{что } d_{i1}^g, d_{i2}^g, \dots, d_{im}^g \neq d_{i1}^q, d_{i2}^q, \dots, d_{im}^q,$$

где  $d_{i1}^g, d_{i2}^g, \dots, d_{im}^g$ ,  $d_{i1}^q, d_{i2}^q, \dots, d_{im}^q$  – значения ключа кортежей  $g$  и  $q$  ( $g \neq q$ ) отношения  $r_i$ .

Схема базы данных:

$$\mathcal{R} = \{R_i \mid 1 \leq i \leq I\},$$

где  $I$  – количество отношений в базе данных.

Для обеспечения соответствия концептуальной модели ПрО и БД разработана модель системного изоморфизма в виде логической модели:

$$\mathcal{M} \cong \mathcal{R},$$

где  $\mathcal{R} = \mathcal{R}_M \circ \mathcal{R}_e$ ,  $\mathcal{M} \equiv \mathcal{R}_M$ ;  $\mathcal{M}$  – модель предметной области;  $\mathcal{R}$  – схема базы данных;  $\mathcal{R}_M$  – часть схемы базы данных, соответствующая  $\mathcal{M}$ ;  $\mathcal{R}_e$  – часть схемы базы данных, определяющая дополнительную информацию.

Изменение логической модели системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД во времени:

$$\mathcal{M}(t) \cong \mathcal{R}(t), \text{ при } \mathcal{M}(t) \equiv \mathcal{R}_{\mathcal{M}}(t), 0 \leq t \leq T,$$

где  $T$  – время существования АИС.

Для оценки системного изоморфизма введены коэффициенты подобия и разнообразия концептуальной модели ПрО и БД.

Степень логического подобия  $\mathcal{M}$  и  $\mathcal{R}$ :  $\alpha = \mathcal{R}_{\mathcal{M}} / \mathcal{R}$ .

Степень логического разнообразия  $\mathcal{M}$  и  $\mathcal{R}$ :  $\beta = \mathcal{R}_e / \mathcal{R} = 1 - \mathcal{R}_{\mathcal{M}} / \mathcal{R} = 1 - \alpha$ .

Оценки логического соответствия:

- при  $\alpha \rightarrow 1$  – логическое подобие  $\mathcal{M}$  и  $\mathcal{R}$  высокое, так как  $\mathcal{R}_e \rightarrow \emptyset$ ;
- при  $\alpha \rightarrow 0$  – логическое подобие  $\mathcal{M}$  и  $\mathcal{R}$  низкое, так как  $\mathcal{R} \approx \mathcal{R}_e$ .

Формирование начального отображения концептуальной модели ПрО осуществляется в БД, представленную в форме универсального отношения  $U$ . При этом SQL-запрос для каждого понятия будет являться проекцией универсального отношения.

Для повышения эффективности функционирования АИС целесообразно привести БД из универсального отношения к ЗНФ (алгоритмы проектирования БД в ЗНФ известны и в работе не рассматриваются). При этом осуществляется модификация системы базовых SQL-запросов для обеспечения системно-изоморфного соответствия концептуальной модели ПрО и БД.

Поддержка системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД при изменении модели ПрО потребовала разработки способа обеспечения соответствия в случае добавления и удаления понятий, добавления и удаления отношений между понятиями, включения понятия с трансляцией отношения, декомпозиции и слияния понятий.

Автоматически реализуемый системой способ динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД при изменении модели ПрО заключается в следующем:

- корректировка формального описания концептуальной модели ПрО;
- в случае необходимости корректировка БД;
- модификация системы базовых SQL-запросов.

Например, поддержка системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД при добавлении нового понятия-агрегата «сотрудник» в модель ПрО (рисунок 2,а) осуществляется следующим образом.

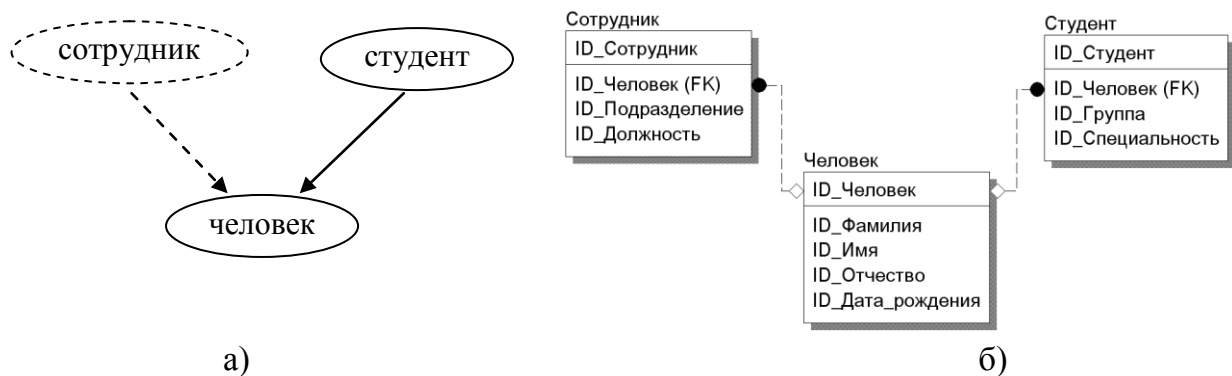


Рисунок 2 – а) Добавление в концептуальную модель ПрО понятия-агрегата «сотрудник»; б) модификация схемы БД для хранения информации об объектах понятия-агрегата «сотрудник»

Фрагмент ПрО на рисунке 2,а формально представляется записью:

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \langle \text{сотрудник}, \langle \text{человек}, \text{:подразделение}, \text{:должность} \rangle, \emptyset \rangle \\
 V_2 &= \langle \text{студент}, \langle \text{человек}, \text{:группа}, \text{:специальность} \rangle, \emptyset \rangle \\
 V_3 &= \langle \text{человек}, \langle \text{фамилия}, \text{:имя}, \text{:отчество}, \text{:дата рождения} \rangle, \emptyset \rangle \\
 r_1 &= \langle V_1, V_3, \text{являются частью}, \text{часть-целое} \rangle \\
 r_2 &= \langle V_2, V_3, \text{являются частью}, \text{часть-целое} \rangle
 \end{aligned}$$

Добавление нового понятия требует изменения БД путем включения нового отношения, предназначенного для хранения информации об объектах нового понятия (рисунок 2,б).

Формирование базового SQL-запроса для нового понятия производится путем естественного соединения нового отношения БД и базового SQL-запроса понятия-компонента. Базовый SQL-запрос для понятия «сотрудник» будет иметь вид

Select \* From Сотрудник Join v\_Человек,

где v\_Человек – имя базового SQL-запроса, формирующего объем понятия-компонента «Человек».

В общем случае базовый SQL-запрос нового понятия  $O_i^j$ , связываемого с понятием  $O_k^{j-1}$ , имеет вид

Select \* From R1 Join v\_V2,

где R1 – отношение, содержащее объекты понятия  $O_i^j$ ; v\_V2 – базовый SQL-запрос, формирующий объем понятия  $O_k^{j-1}$ .

Разработанная модель динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД позволила реализовать обобщенную операцию абстрагирования, предоставляющую возможность формировать понятия-образы путем:

- отбрасывания несущественных свойств конкретного понятия;
- отбрасывания свойств конкретного понятия, существенных для конкретных объектов, но не существенных в определенной ситуации, соответствующей понятию-образу;
- создания обобщенного понятия с интегральными характеристиками, формируемыми на основе свойств конкретного понятия;
- создания обобщенного понятия-образа, объекты которого будут иметь усредненные характеристики групп объектов конкретного понятия.

Обобщенная операция абстрагирования позволяет получать принципиально новые представления ПрО, обладающие существенно более высоким уровнем абстрагирования и обобщения, чем в существующих информационных системах. Поддержка отношения абстрагирования делает АИС открытой для формирования специфических типов объектов, обладающих большой выразительной способностью для представления объектов реального мира, и предоставляет пользователям мощные средства для адекватного моделирования предметной области.

Поддержка системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД при изменении БД потребовала разработки способа обеспечения соответствия в случаях декомпозиции, иерархической декомпозиции и композиции отношений, деления и объединения отношений, декомпозиции и слияния атрибутов отношений.

Автоматически реализуемый системой способ динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД при изменении схемы БД заключается в следующем:

- корректировка схемы БД;
- модификация системы базовых SQL-запросов.

Например, поддержка системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД при декомпозиции отношения «Человек» на два отношения, с включением в первое отношение атрибутов с наиболее часто используемой информацией, а во второе – атрибутов с более редко используемой информацией, приведена на рисунке 3.

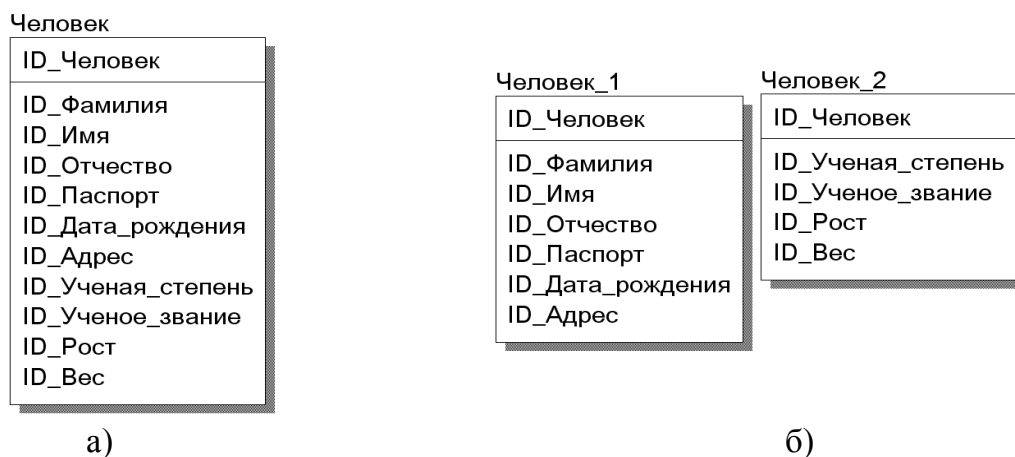


Рисунок 3 – а) Фрагмент исходной схемы БД; б) фрагмент схемы БД после декомпозиции отношения «Человек» на два отношения

Модификация системы базовых SQL-запросов заключается в замене исходного отношения на естественное соединение двух отношений. Базовый SQL-запрос для формирования объема понятия «Человек» для схемы БД на рисунке 3 имеет вид

Select \* From Человек\_1 Join Человек\_2.

В общем случае базовый SQL-запрос при декомпозиции отношения имеет вид

Select \* From R1 Join R2,

где R1 и R2 – отношения, содержащие полную информацию об объектах.

Особенность организации АИС с динамической поддержкой системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД заключается в возможности совершенствования системы в процессе ее функционирования путем повышения адекватности отражения реального мира в концептуальной модели ПрО и повышения эффективности обработки данных вследствие оптимизации БД.

**В третьей главе** определяется способ организации системы базовых SQL-запросов, разрабатываются операции динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД и их программная реализация, а также приводятся результаты апробации разработанного программно-информационного компонента.

Система базовых SQL-запросов может быть реализована в форме полных запросов, включающих только отношения БД, и в форме системы распределенных запросов, включающих отношения БД и базовые SQL-запросы понятий более низкого уровня.

Оценка каждого способа организации системы базовых SQL-запросов осуществлялась на основе количества модифицируемых SQL-запросов, а также временной и емкостной сложности модификации одного базового SQL-запроса. Система базовых SQL-запросов в форме полных запросов показала экспоненциальные оценки, пропорциональные  $O(a^{n-k})$ , а в форме распределенной системы запросов – оценки, пропорциональные  $O(a) \approx 0$ , где  $a$  – среднее количество понятий, определенных на основе некоторого понятия на каждом уровне концептуальной модели ПрО;  $k$  – уровень, на котором находится модифицируемое понятие;  $n$  – количество уровней в модели ПрО.

Таким образом, показано, что система базовых SQL-запросов может быть организована очень эффективно и требовать минимальных затрат на поддержание.

На основе разработанных способов динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД и организации системы базовых SQL-запросов в форме распределенных запросов разработан набор операций, приведенный в таблице 1, в которой приняты следующие обозначения:

$M, M'$  – концептуальная модель предметной области до и после выполнения операции;

$Q, Q'$  – система базовых SQL-запросов до и после выполнения операции;

$v, v'$  – существующее или добавляемое понятие;

$r$  – отношение между понятиями концептуальной модели предметной области;

$\mathcal{R}, \mathcal{R}'$  – схема БД до и после выполнения операции;

$R, R1, R2$  – существующие отношения БД;

$A$  – подмножество атрибутов отношения  $R$  БД;

$a_i, a_j$  – атрибуты отношения  $R$  БД;

$p$  – предикат или некоторое правило, используемое при выполнении операции.

Предложенный механизм базовых SQL-запросов позволил реализовать и обработку данных в АИС. Для этого система базовых SQL-запросов была расширена запросами типа insert, update и delete. Показано, что понятия-подклассы для обработки данных используют SQL-запросы типа insert, update и delete из понятия-класса, а для понятий-образов запросы типа insert, update и delete не создаются, так как понятие-образ является представлением данных с высокой степенью абстрагирования и обобщения, а



объекты его объема формируются как интегральные объекты из объектов конкретного понятия.

Таблица 1 – Операции динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД

Операция	Формат операции
Начальное отображение понятий концептуальной модели ПрО в БД в форме универсального отношения	$\theta_1 : \mathcal{M} \rightarrow \langle Q, \mathcal{R} \rangle$
Формирование отображения понятий концептуальной модели ПрО в БД, представленную в ЗНФ	$\theta_2 : \langle \mathcal{M}, Q, \mathcal{R} \rangle \rightarrow \langle Q', \mathcal{R}' \rangle$
Добавление понятия в концептуальную модель ПрО	$\theta_3 : \langle \mathcal{M}, Q, \mathcal{R}, v [v', r] \rangle \rightarrow \langle \mathcal{M}', Q', \mathcal{R}' \rangle$
Добавление понятия в концептуальную модель ПрО с трансляцией отношения	$\theta_4 : \langle \mathcal{M}, Q, \mathcal{R}, v, r \rangle \rightarrow \langle \mathcal{M}', Q', \mathcal{R}' \rangle$
Декомпозиция понятия концептуальной модели ПрО	$\theta_5 : \langle \mathcal{M}, Q, \mathcal{R}, v, r \rangle \rightarrow \langle \mathcal{M}', Q', \mathcal{R}' \rangle$
Композиция понятий концептуальной модели ПрО	$\theta_6 : \langle \mathcal{M}, Q, \mathcal{R}, v, v' \rangle \rightarrow \langle \mathcal{M}', Q', \mathcal{R}' \rangle$
Удаление понятия из концептуальной модели ПрО	$\theta_7 : \langle \mathcal{M}, v \rangle \rightarrow \langle \mathcal{M}' \rangle$
Добавление отношения между понятиями концептуальной модели ПрО	$\theta_8 : \langle \mathcal{M}, Q, \mathcal{R}, v, v', r \rangle \rightarrow \langle \mathcal{M}', Q', \mathcal{R}' \rangle$
Удаление отношения между понятиями концептуальной модели ПрО	$\theta_9 : \langle \mathcal{M}, v, v' \rangle \rightarrow \langle \mathcal{M}' \rangle$
Декомпозиция отношения БД	$\theta_{10} : \langle Q, \mathcal{R}, R, A \rangle \rightarrow \langle Q', \mathcal{R}' \rangle$
Иерархическая декомпозиция отношения БД	$\theta_{11} : \langle Q, \mathcal{R}, R, a \rangle \rightarrow \langle Q', \mathcal{R}' \rangle$
Композиция отношений БД	$\theta_{12} : \langle Q, \mathcal{R}, R1, R2 \rangle \rightarrow \langle Q', \mathcal{R}' \rangle$
Деление отношения БД	$\theta_{13} : \langle Q, \mathcal{R}, R, p \rangle \rightarrow \langle Q', \mathcal{R}' \rangle$
Объединение отношений БД	$\theta_{14} : \langle Q, \mathcal{R}, R1, R2 \rangle \rightarrow \langle Q', \mathcal{R}' \rangle$
Декомпозиция атрибута отношения БД	$\theta_{15} : \langle Q, \mathcal{R}, R, a_i, p \rangle \rightarrow \langle Q', \mathcal{R}' \rangle$
Слияние атрибутов отношения БД	$\theta_{16} : \langle Q, \mathcal{R}, R, a_i, a_j, p \rangle \rightarrow \langle Q', \mathcal{R}' \rangle$

**Оценки временной сложности операций:**

$\theta_1 : T = O(n);$

$\theta_2 : T = O(1-3) + O(n \cdot m)$ , где  $O(1-3)$  – сложность шагов 1–3 алгоритма;  $n$  – количество понятий;  $m$  – количество отношений в базе данных;

$\theta_3 - \theta_{16}$  : временная сложность операций определяется временной сложностью реализации операций языков DDL и DML СУБД, поддерживающих БД.

Для реализации операций динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД разработан набор алгоритмов, представленных программными процедурами, связанными по входу и выходу. Алгоритм реализации операции  $\theta_4$  приведен на рисунке 4. Подобным образом реализованы все операции  $\theta$  из таблицы 1. Это позволило сформировать целостный программно-информационный компонент, обладающий высокой автономностью и взаимодействующий с модулем ведения концептуальной модели ПрО и СУБД.

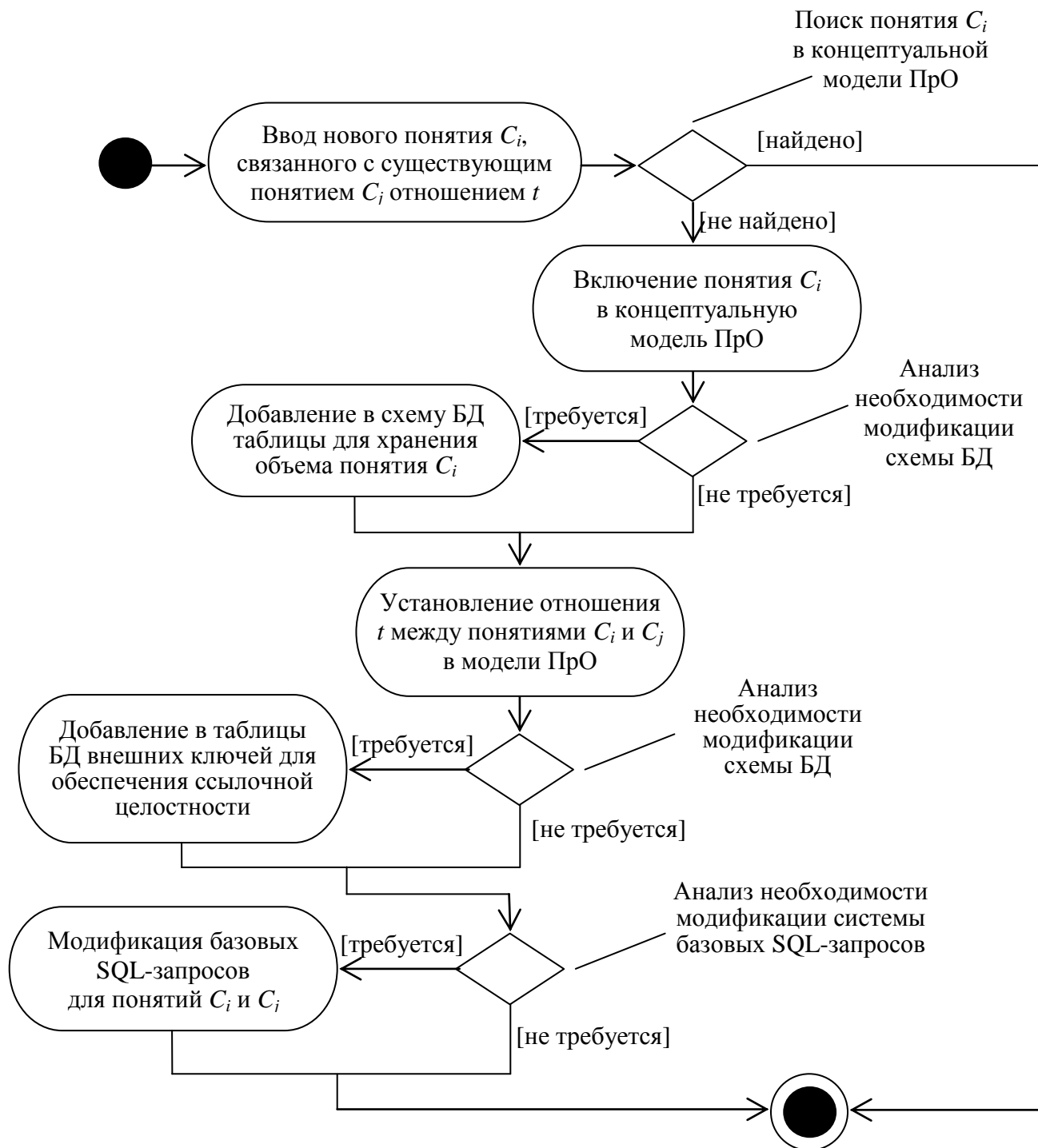


Рисунок 4 – Схема алгоритма операции  $\theta_4$

Для апробации предложенных модели и алгоритмов разработана экспериментальная программная оболочка, включающая программный компонент в качестве одной из подсистем и позволяющая создавать АИС пользователями системы без проектирования и написания программного кода.

Экспериментальная система подтвердила теоретические показатели эффективности динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД, а также открытость создаваемых АИС на уровнях концептуальной модели ПрО и базы данных. Это позволяет утверждать, что впервые достигнута реальная независимость концептуальной модели ПрО и БД, являющаяся одним из важнейших требований к информационным системам.

**В приложении** представлены программный код основных модулей программно-информационного компонента и документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Разработана формализованная концептуальная модель ПрО, позволяющая представлять в виде понятий объекты реального мира и их свойства, а также отношения агрегации, обобщения, классификации и абстрагирования между понятиями.

2. Определен набор допустимых модификаций концептуальной модели ПрО и схемы БД, приводящих к нарушению их соответствия, и алгоритмы восстановления системного изоморфизма между ними.

3. Разработана логическая модель динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД, обеспечивающая следующие возможности:

– полную независимость модели ПрО и организации данных, что преобразует запросы пользователей в неспецифические воздействия и впервые позволяет АИС самостоятельно формировать, поддерживать и совершенствовать корректную, надежную и эффективную организацию данных, соответствующую формализованной концептуальной модели ПрО;

– формирование начального отображения концептуальной модели ПрО в БД и поддержку динамического соответствия между ними в форме системного изоморфизма при изменениях модели ПрО и схемы БД;

– логическую корректность и высокую надежность функционирования системы, базирующиеся на формальных методах организации и обработки данных;

– высокую эффективность функционирования системы, базирующуюся на независимости базы данных и возможности ее оптимизации в процессе функционирования АИС.

4. Разработан способ динамической поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД на основе системы базовых SQL-запросов, расширяющий возможности АИС без снижения скорости обработки данных, обеспечиваемой системой управления базами данных.

5. Определены формальные операции и алгоритмы их реализации, осуществляющие динамическую поддержку системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД.

6. Разработаны структура и организация программного компонента, выполняющего динамическую поддержку системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД в процессе функционирования АИС.

7. Разработана структурная модель АИС с динамической поддержкой системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и БД, позволяющая существенно упростить администрирование и сопровождение АИС и предоставляющая пользователям средства для поддержки адекватности системы внешней среде длительное время, что существенно увеличивает срок эксплуатации АИС.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России**

1. Зинченко, Р. Е. Системный подход к концептуальному моделированию предметной области в самоорганизующейся информационной системе / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко // Программные продукты и системы. – 2009. – № 4. – С. 73–79.

2. Зинченко, Р. Е. Системно-изоморфное динамическое соответствие концептуальной модели предметной области и схемы базы данных / Р. Е. Зинченко // Программные продукты и системы. – 2010. – № 1. – С. 71–75.

3. Зинченко, Р. Е. Обобщенная операция абстрагирования как реализация принципа открытости самоорганизующейся информационной систе-

мы / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко, Е. В. Герасимова // Программные продукты и системы. – 2010. – № 2. – С. 82–89.

4. Зинченко, Р. Е. Обработка данных в информационной системе с динамическим соответствием модели предметной области и схемы базы данных / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. Физико-математические и технические науки. – 2010. – № 18 (28). – С. 145–150.

5. Зинченко, Р. Е. Эволюция архитектуры информационных систем / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко // Программные продукты и системы. – 2010. – № 4. – С. 59–63.

### **Публикации в других изданиях**

6. Зинченко, Р. Е. Оптимизация SQL-запросов / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко, А. А. Масленников // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. VI Всерос. науч.-техн. конф. – Пенза, 2006. – С. 34–36.

7. Зинченко, Р. Е. Стратегии оптимизации SQL-запросов / Р. Е. Зинченко // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. VII Всерос. науч.-техн. конф. – Пенза, 2007. – С. 10–12.

8. Зинченко, Р. Е. Формирование системы SQL-запросов для отображения объектного пользовательского представления предметной области в базу данных / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко // Проблемы информатики. – 2008. – № 1. – С. 48–50.

9. Зинченко, Р. Е. Модификация системы SQL-запросов при изменении пользовательского объектного представления предметной области / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. Физико-математические и технические науки. – 2008. – № 8 (12). – С. 106–110.

10. Зинченко, Р. Е. Отображение концептуальной модели предметной области в модель базы данных / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко, А. А. Масленников // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. VIII Всерос. науч.-техн. конф. – Пенза, 2008. – С. 208–210.

11. Зинченко, Р. Е. Информатизация предприятия на основе самоорганизующейся информационной системы / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко // Инновации в управлении и образовании: технико-технологические и мето-

дические аспекты : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Тула, 2009. – С. 91–93.

12. Зинченко, Р. Е. Модель системного изоморфизма концептуальной модели предметной области и схемы базы данных / В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко, Е. В. Герасимова, Р. Н. Кузнецов, Р. Ю. Севостьянов // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. IX Междунар. науч.-технич. конф. – Пенза, 2009. – С. 44–49.

13. Зинченко, Р. Е. Методы адаптации и поколения развития программного обеспечения / А. Б. Баканов, В. В. Дрождин, Р. Е. Зинченко, Р. Н. Кузнецов // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. Физико-математические и технические науки. – 2009. – № 13 (17). – С. 66–70.

**Научное издание**

**ЗИНЧЕНКО Роман Егорович**

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ  
СИСТЕМНОГО ИЗОМОРФИЗМА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ  
ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И БАЗЫ ДАННЫХ**

Специальность 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Подписано в печать 03.03.2011. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 1,1.

Заказ № 001950. Тираж 100.

---

Пенза, Красная, 40, Издательство ПГУ  
Тел./факс: (8412) 56-47-33; e-mail: iic@mail.pnzgu.ru

