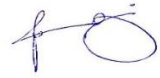


На правах рукописи



Нью Нью Хтве

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА И СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ
ОБРАБОТКИ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПРЕДМЕТНЫХ
ЗАДАЧ**

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН».

Научный руководитель: **Волкова Галина Дмитриевна**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий и вычислительных систем ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва

Официальные оппоненты: **Садовникова Наталья Петровна**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования и поискового конструирования ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград

Красников Степан Альбертович
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры математического обеспечения и стандартизации информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск

Защита состоится «8» октября 2024 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.332.02 при ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» по адресу: 127994, г. Москва, Вадковский пер., д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», www.stankin.ru.

Автореферат разослан «_____» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.2.332.02
д.ф.-м.н., доцент



Елисеева Юлия Витальевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Интеллектуальный ресурс любой организации или промышленного предприятия включает как опыт и знания, работающих в них специалистов и руководителей, так и разнообразные фонды, хранящиеся и в документной, и в электронной форме. Фонды могут иметь различное назначение, например, организованы в виде архивов технической и организационной документации, библиотечных фондов, фондов регламентов, стандартов, патентов, методик, типовых решений и др. По сути, документные фонды предприятий представляют собой аккумулялированные знания многих поколений специалистов.

В современных условиях, связанных с дефицитом квалифицированных инженерных кадров и ситуацией «разрыва поколений», на промышленных предприятиях остро стоит вопрос сохранения и дальнейшего развития интеллектуального потенциала. Специфика инженерных знаний заключается в их сложной организации, обусловленной необходимостью их увязывать в рамках жизненного цикла создаваемых машиностроительных изделий.

Одним из решений этого вопроса является перенос интеллектуального ресурса в компьютерную среду. Но простое сканирование и/или формирование документов непосредственно в компьютере не позволит решить эту проблему. Требуется перевести в компьютерную среду не только «форму», но и «содержание» документа. Это возможно при наличии формализованных методов семантического моделирования предметных областей, в которых знания зафиксированы в различных средах: бумажных носителях, в компьютере, в памяти специалистов.

Степень разработанности темы исследования. Метод концептуального моделирования предметных задач в рамках методологии автоматизации интеллектуального труда (МАИТ), разработанный на кафедре «Информационные технологии и вычислительные системы» МГТУ «СТАНКИН», позволяет представить систему знаний предметной области в виде формализованных моделей. Эти семантические модели обеспечивают единую интерпретацию последующих формально-языковых представлений предметных задач, подлежащих автоматизации.

МАИТ, обеспечивающая промышленный способ создания автоматизированных систем (АС) в рамках когнитивного подхода, теоретически обоснована доктором технических наук, профессором Волковой Галиной Дмитриевной.

Развитие формальных методов и методик данной методологии получили в работах Новоселовой О.В., Семячковой Е.Г., Курышева С. М., Щукина М.В., Сироты И.М., Бычковой Н.А., Протасовой С.В., Володиным Д.А., Тюрбеевой Т.Б. и др.

Обозначенные проблемы, связанные с моделированием и поддержкой системы предметных знаний при проектировании и реализации АС, могут быть решены с помощью новых способов и средств поддержки обработки

концептуальных представлений предметных задач. Это позволило сформулировать цель работы и поставить научную задачу.

Целью данного исследования является повышение эффективности процесса концептуального моделирования предметных задач за счет разработки метода и средств обработки компонентов семантического представления, разработанных в рамках методологии автоматизации интеллектуального труда.

Для достижения поставленной цели в работе была решена **научная задача**, включающая:

- изучение применяемых методов и подходов, а также инструментов для семантического моделирования предметных задач;
- разработку уточненного формального описания концептуального представления предметных задач;
- разработку метода обработки статистических предметных ограничений при концептуальном моделировании прикладных задач;
- разработку методических основ выделения, описания и обработки статистических предметных ограничений при концептуальном моделировании;
- разработку программных средств поддержки обработки статистических предметных ограничений при концептуальном моделировании прикладных задач.

Объектом исследования являются семантические модели предметной области.

Предметом исследования является формальное описание концептуальной модели, представляющей документированные технические знания с учетом различной степени их формализации.

Научная новизна:

- установлены связи между характеристиками моделей статистических (таблично оформленных) знаний и их аналитической интерпретацией;
- разработано уточненное формальное описание концептуального представления предметных задач;
- разработан метод обработки статистических предметных ограничений 1-го рода при концептуальном моделировании прикладных задач.

Теоретическая значимость исследования. Разработанный метод может быть использован для теоретического обоснования систематизации и классификации концептуальных представлений таблично организованных знаний в различных предметных областях при автоматизации интеллектуального труда.

Практическая значимость исследования. Разработано методическое обеспечение в виде начального модельного представления задачи «Обработка статистических предметных ограничений при концептуальном моделировании прикладных задач» как совокупности процедур:

- выделение всех статистических предметных зависимостей 1-го рода и их предварительная обработка, определение содержания всех статистических предметных зависимостей 1-го рода;
- формирование основной концептуальной структуры для фрагмента

концептуальной модели под статистическую предметную зависимость 1-го рода;

- определение типологии статистических предметных зависимостей 1-го рода и документирование моделей для всех статистических предметных зависимостей 1-го рода;

- разработаны инструментальные средства для поддержки обработки концептуальных моделей.

Методы исследования. При разработке теоретических положений диссертационной работы были использованы аппараты теории множеств, математической логики, реляционной алгебры, теории баз данных, метод концептуального моделирования (в соответствии с МАИТ).

Положения, выносимые на защиту:

- уточненное формальное описание концептуального представления предметных задач как совокупности моделей 1-го и 2-го рода;

- метод обработки статистических ограничений 1-го рода при концептуальном моделировании предметных задач;

- методическое обеспечение в виде совокупности начальных моделей;

- программные модули для процедур обработки концептуальных моделей при создании прикладных АС.

Степень достоверности и апробации результатов. Результаты, полученные в диссертационной работе, подтверждаются соответствием экспериментальных и теоретических исследований. Также результаты исследования рекомендовано применять в учебном процессе кафедры «Информационные технологии и вычислительные системы» МГТУ «СТАНКИН» при подготовке специалистов по направлению «Информатика и вычислительная техника».

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях: III всероссийская научно-практическая конференция «Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал», Москва, 2020г.; XIII всероссийская конференция с международным участием «Машиностроение: традиции и инновации (МТИ – 2020)», Москва, 2020г.; XXVIII конференция «Математика. Компьютер. Образование – 2021» МКО-2021, 25-30 января 2021 г.; Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus) 2021 IEEE.

Соответствие паспорту специальности. Научная работа соответствует формуле научной специальности 2.3.1- Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а именно: п. 2- «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»; п. 4- «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации».

Публикации по теме работы. По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе: 2 научные работы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 1 научная работы, в изданиях, входящих в базы данных Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 91 наименования. Работа содержит 246 страниц сквозной нумерации, включая 183 рисунка, 43 таблиц и 18 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются основные задачи и положения, выносимые автором на защиту. Приводится структура и общее содержание диссертации по главам.

В первой главе рассмотрены результаты исследования и анализа существующих подходов, методов и инструментальных средств для семантического моделирования предметных задач, подлежащих автоматизации; исследованы особенности концептуального моделирования в методологии автоматизации интеллектуального труда.

Развитие любой технологии определяется разработкой и совершенствованием методов и средств их поддержки в определенный период. Каждый этап развития технологии автоматизации интеллектуального труда также характеризовался накопленным опытом и проблемами. Решение проблем приводило к появлению новых методов. В качестве основных методов для анализа были выбраны следующие представители разных подходов: -технологии традиционного программирования; -технологии структурного программирования; - технологии объектно-ориентированного программирования и методов искусственного интеллекта; - когнитивные технологии.

Когнитивный подход как этап развития автоматизации интеллектуального труда продолжает развиваться и в настоящее время. Суть этого этапа заключается в многоуровневом отображении (моделировании) реального мира, где каждый уровень включает в себе ряд функциональных центров: монадический, структурный и контекстуальный, которые связаны между собой законом цикличности научного познания.

Основным критерием для характеристики подходов был выбран набор модельных представлений предметных задач. Модельные представления лежат в основе всех методов и средств соответствующих технологий. В работе исследовались наиболее широко распространенные методы: метод тезаурусов, оформившийся в рамках традиционного подхода; метод Чена и технологии IDEF, оформившиеся в рамках структурного подхода; декларативные методы ИИ (семантические сети, фреймы), процедуральные методы ИИ (логического вывода, продукции), метод онтологий, оформившиеся в рамках этап НИТ; унифицированный язык моделирования (Unified modeling language, UML), разработанный для моделирования и подготовки реализации АС на основе объектно-ориентированного подхода; метод концептуального моделирования в рамках МАИТ как представитель когнитивного подхода.

Анализ методов семантического моделирования выполнялся по следующим критериям: -область деятельности – источник; -начало разработки; -основания

семантического моделирования/ базовые элементы; -виды и разнообразие статических отношений/структур; виды и разнообразие динамических отношений/структур; -наличие закономерностей формирования структур/конструкций; -наличие формального аппарата для описания отношений/структур и для их интеграции; -наличие формального аппарата для обработки моделей/ структур; -методическое обеспечение; -программная поддержка.

По результатам сравнительного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Методы технологий традиционного и структурного программирования ориентированы на описание статических составляющих семантической модели. При этом методы технологии объектно-ориентированного программирования и когнитивного подхода ориентированы на описание и статических, и динамических составляющих семантической модели.

2. В методах первых трех подходов механизмы формирования составляющих модели – индивидуальные, «рецептурные». В методе когнитивного подхода выявлено наличие закономерностей формирования всех составляющих семантической модели.

3. В методах технологий традиционного и структурного программирования отсутствует формальный аппарат описания/интеграции семантических моделей. В методе технологии объектно-ориентированного программирования наличие формального аппарата (известного). В методе когнитивного подхода выявлено наличие оригинального формального аппарата для описания и/или интеграции концептуальных представлений, концептуальных моделей, концептуальных конструкций.

4. В методах первых трех подходов отсутствует формальный аппарат для обработки и/или оптимизации самих моделей.

5. Методическое обеспечение для первых трех подходов обусловлено индивидуальным опытом и квалификацией специалистов. Методическое обеспечение технологии когнитивного подхода включает унифицированный набор процедур, правил их выполнения, правил оформления и фиксации результатов в графической и табличной форме.

Основываясь на анализе семантических методов, используемых при разработке систем автоматизации приложений, было установлено, что эти методы затруднительно использовать при создании приложений для машиностроения. Кроме того, в CASE-средствах удобно, информативно и доступно используются визуальные средства для представления информации в методах указанных подходов, они не имеют формального описания различных моделей и их обработки.

В то же время, аналитический обзор позволяет выделить характеристики и преимущества использования МАИТ: полный набор компонентов модели и их увязка для представления модели на любом этапе разработки системы автоматизации; наличие закономерностей организует семантический и синтаксический внешний вид моделей на трех уровнях абстрагирования.

Анализ современных инструментальных средств для семантического моделирования предметных задач, подлежащих автоматизации, был выполнен с учетом таких критериев, как: среда функционирования, надежность, удобство использования, эффективность, переносимость, настраиваемость и стоимость.

В качестве средств для анализа были выбраны наиболее известные, такие как CA BPwin; CA ERwin Data Modeling Suite; WorkFlow Analyzer; Silverrun; IBM Rational Software Architect; CASE.Аналитик; Power Designer; Oracle Designer; Visio; инструментальные средства МАИТ. Как и при анализе методов и методологий представления знаний был выявлен ряд проблем, не позволяющих эффективно использовать существующие программные продукты для концептуального моделирования предметных задач, подлежащих автоматизации в рамках МАИТ.

В результате анализа инструментальных средств можно сделать два основных вывода. Во-первых, существует ряд качественных программных систем таких, как Oracle Designer или Silverrun, они в свою очередь имеют возможность полностью, от начала до конца, настроить пакеты данных. Но не все предприятия могут себе позволить такие большие трудозатраты и материальные расходы в том числе, не всегда такой подход себя оправдывает. Во-вторых, есть более дешевые и простые по технологии пакеты ERwin, BPwin, Power Designer, однако при этом они работают локально, то есть отдельно с каждым уровнем или элементом модели, что не позволяет наладить целостное управление всей структурой. Общим для обоих вариантов является то, что они не обеспечивают возможность представления модели вне программного обеспечения. Но при этом, если в программах и появится возможность индивидуальной настройки, то уровень издержек повысится – такое программное обеспечение вырастет в цене и потребует отдельного обучения сотрудников.

Основываясь на анализе этих методов, при разработке систем автоматизации приложений существует много недостатков, и эти методы сложно использовать при создании прикладных АС для машиностроения. Кроме того, в программном обеспечении CASE tools удобно, информативно и доступно использовать визуальные средства для представления информации в этих методах.

Полученные результаты, показали, что при проектировании и реализации прикладных АС следует использовать не только методы моделирования знаний, но требуются способы и средства поддержки обработки концептуальных представлений предметных задач. Это позволило формировать цель работы и поставить задачи для её достижения.

В второй главе представлены уточнение формального описания концептуальных моделей и разработанный метод обработки статистических предметных ограничений при концептуальном моделировании прикладных задач. В рамках методологии автоматизации интеллектуального труда концептуальное моделирование рассматривается на трех взаимосвязанных уровнях абстрагирования и для двух представлений: универсальное

концептуальное представление и концептуальные представления предметных задач.

Наличие трех взаимосвязанных уровней абстрагирования в универсальном представлении предопределяет возможность интеграции на нижележащих уровнях, обеспечивая целостность и единство системы знаний, которые невозможны без существования определенных закономерностей формирования моделей. Соотношение концептуальных представлений можно определить как наличие ограничений, которые накладываются универсальным представлением на представления предметных задач.

Формальное описание концептуальных представлений в целом и концептуальных моделей в каждом представлении, а также наличие закономерностей формирования для всех составляющих концептуальных моделей в рамках универсального представления обеспечивает теоретическую основу для моделирования знаний в различных предметных областях.

Прикладная часть метода концептуального моделирования связана с семантическим моделированием предметных задач, что предполагает идентификацию и выделение самой задачи из предметной области.

Поскольку концептуальное представление предметных задач определяет совокупность моделей, то формально это можно описать:

$$KP(n) = \langle KP2(n), \overline{KP3(n)}, R_{23}^{KP}(n) \rangle,$$

где $KP2(n)$ – модель объектного уровня (2) для выделенной (n-ой) предметной задачи, $\overline{KP3(n)} = \{KP3(nm)\}$ – совокупность моделей конкретного уровня для той же задачи. $R_{23}^{KP}(n)$ – отношения, описывающие взаимосвязи концептуальных моделей разных уровней абстрагирования для n-й предметной задачи.

При этом модель каждого уровня абстрагирования включает подмодели соответствующего i-го уровня и j-го рода $KPi.j(z)$, где для $i=2$, $z=n$, а для $i=3$, $z=nm$.

$$KPi(z) = \langle KPi.1(z), KPi.2(z), R_i^{KP}(z) \rangle$$

Уточненная структура представления с учетом подмоделей приведена на рис. 1.

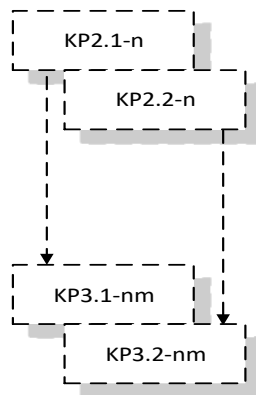


Рис.1. Уточненная структура концептуального представления предметной задачи с учетом подмоделей

$$KP.1(n) = \langle KP2.1(n), \overline{KP3.1(n)}, R_{23}^{KP1}(n) \rangle,$$

где $KP2.1(n)$ - модель 1-го рода объектного уровня (2) для выделенной (n-ой) предметной задачи, $\overline{KP3.1(n)} = \{KP3.1(nm)\}$ - совокупность моделей 1-го рода конкретного уровня для той же задачи.

Концептуальная модель 1-го рода на объектном уровне для n-ой предметной задачи включает следующие совокупности: множество предметных категорий (ПК), множество статистических (структурных) отношений на ПК и множество динамических отношений на ПК:

$$KP2.1(n) = \langle M2(n), T2(n), H2(n), \overline{F2}(n), R_2^{KP1}(n) \rangle$$

Множество ПК для n-ой предметной задачи разбивается на множество непересекающихся подмножеств:

$$M2(n) \equiv A(n)$$

$$A(n) = \bigcup_i A_i(n), A_i(n) \cap A_j(n) = \emptyset, A_i(n) \subset A(n),$$

$$A_i(n) = \{a_{ik}\}$$

$T2(n)$ – множество бинарных отношений и $H2(n)$ – множество тернарных отношений на ПК, $\overline{F2}(n)$ – множество динамических отношений 1-го рода, $R_2^{KP1}(n)$ – увязка статической и динамической составляющих.

$$T2(n) \subset A(n) \times A(n)$$

Для лучшего восприятия и понимания разработанной теории была предложена графическая интерпретация всех семантических конструкций. Бинарные связи на категориях любого уровня отражают, по своей сути, «родословную» признаков (или, точнее, ПК класса «Признак») и их значений. Тернарные связи отражают уровни семантической сложности или «масштаба».

$$H2(n) \subset A(n) \times A(n) \times A(n)$$

Динамические отношения включают систему предметных зависимостей первого рода $\overline{F2}(n)$:

$$\overline{F2}(n) = (\overline{V2}(n), \overline{FV2}(n))$$

где $\overline{V2}(n)$ – множество предметных зависимостей 1-го рода (ПЗ-1) и $\overline{FV2}(n)$ – множество бинарных отношений между ПЗ-1.

Множество ПЗ-1 разбивается на множество непересекающихся подмножеств разных уровней разложения (декомпозиции):

$$\overline{V2}(n) \equiv \overline{W}(n), \overline{W}(n) = \bigcup_s \overline{W}_s(n), \overline{W}_s(n) = \{\overline{w}_{sp}\}$$

$$\overline{FV2}(n) \subset \overline{W}(n) \times \overline{W}(n)$$

Так как ПЗ-1 всегда есть вариант определенного типа, то ПЗ-1 как вариант – фиксируется на подмножестве множества ПК:

$$\overline{w}_{sp} = \overline{w}_{sp}(i, t, u_{sp})$$

$$\overline{w}_{sp}(i, t, u_{sp}) = (a_{j1}, \dots, a_{jq})_{u_{sp}} \& Q_{it}^{sp}(n)$$

где $Q_{it}^{sp}(n)$ – описывает соотношения структурных и контекстуальных ПК и индекс u_{sp} размечает подмножество $A_j(n)$, которое характеризует sp – е ограничение или ПЗ-1 для выделенной предметной задачи.

Концептуальная модель конкретного уровня 1-го рода есть совокупность множества экземпляров предметных категорий (ЭПК), множества статистических (структурных) отношений и множества динамических отношений:

где каждое из множеств можно представить в следующем виде:

$$KP3.1(nm) = \langle M3(nm), T3(nm), H3(nm), \overline{F3}(nm), R_3^{KP1}(nm) \rangle$$

$$M3(nm) \equiv B(nm)$$

$$B(nm) = \bigcup_{i,j} B_{ij}(nm), B_{ij}(nm) \cap B_{km}(nm) = \emptyset,$$

$$B_{ij}(nm) \subset B(nm), B_{ij}(nm) = \{b_r^{ij}\}$$

где $T3(nm)$ – множество бинарных отношений и $H3(nm)$ – множество тернарных отношений между экземплярами ПК, $\overline{F3}(nm)$ – динамические отношения, $R_3^{KP-1}(nm)$ – увязка статической и динамической составляющих.

$$T3(nm) \subset B(nm) \times B(nm).$$

$$H3(nm) \subset B(nm) \times B(nm) \times B(nm).$$

Динамические отношения – это система предметных зависимостей первого рода $\overline{F3}(nm)$ [2]:

$$\overline{F3}(nm) = (\overline{V3}(nm), \overline{FV3}(nm)),$$

где $\overline{V3}(nm)$ – множество экземпляров предметных зависимостей 1-го рода (ЭПЗ-1) и $\overline{FV3}(nm)$ – множество бинарных отношений между ЭПЗ-1.

$$\overline{V3}(nm) \equiv \overline{P}(nm)$$

$$\overline{P}(nm) = \bigcup_{i,p} \overline{P}_{ip}(nm), \overline{P}_{ip}(nm) \cap \overline{P}_{rt}(nm) = \emptyset,$$

$$\overline{P}_{rt}(nm) \subset \overline{P}(nm), \overline{P}_{rt}(nm) = \{p_s^{rt}\}$$

$$\overline{FV3}(nm) \subset \overline{P}(nm) \times \overline{P}(nm)$$

Так как ЭПЗ-1 всегда есть вариант определенного типа, то ЭПЗ-1 как вариант – фиксируется на подмножестве множества экземпляров ПК:

$$\overline{p}_r^{sp} = \overline{p}_r^{sp}(i, t, s, u_{spr})$$

$$\overline{p}_r^{sp}(i, t, s, u_{spr}) = (b_x^{j1}, \dots, b_z^{jq})_{u_{spr}} \& H_{its}^{spr}(nm),$$

где $H_{its}^{spr}(nm)$ – условие, отражающее соотношения структурных и контекстуальных экземпляров предметных категорий для выделенной предметной задачи.

Отношения, описывающие взаимосвязи концептуальных моделей разных уровней абстрагирования для представления предметных задач R_{23}^{KP} можно представить в следующем виде:

$$R_{23}^{KP} \subset KP2(n) \times KP3(nm),$$

$$R_{23}^{KP} = \{r_l^{KP23} | r_l^{KP23}: KP2(n) \rightarrow KP3(nm)\}$$

Взаимосвязь моделей может быть представлена по-компонентно:

$$KP2.1(n) \rightarrow KP3.1(nm):$$

$$\begin{aligned}
& A(n) \rightarrow B(nm); \\
& T2(n) \rightarrow T3(nm), H2(n) \rightarrow H3(nm), \\
& \overline{F2}(n) \rightarrow \overline{F3}(nm): \\
& \overline{W}(n) \rightarrow \overline{P}(nm), \overline{FV2}(n) \rightarrow \overline{FV3}(nm),
\end{aligned}$$

Или, по-другому, эту взаимосвязь концептуальных моделей можно представить в виде множеств и блочной матрицы:

$$R_{23}^{KP1}(nm) = \{R_{23}^{KP1-1}(nm), R_{23}^{KP1-2}(nm)\}$$

Таким образом, уточнение моделей осуществляется по каждому компоненту модели: элементам, статическим отношениям на элементах (бинарным и тернарным), динамическим отношениям (зависимостям 1-го и их связям).

При этом любая ПЗ-1 может быть сопоставлена с определенным типом зависимостей, т.е. можно для нее определить «замыкающую» вершину или ПК определенного класса в основной концептуальной структуре.

Любой тип зависимости имеет двухпозиционный код, в котором 1-я позиция характеризует уровень семантической сложности, а 2-я позиция – определяет «замыкание» на одну или разные контекстуальные ПК данного уровня семантической сложности.

Все предметные категории (ПК) разделены на семь классов: Цикл, Процесс, Задача, Компонент, Объект, Признак, Значение. Эти классы образуют строгую иерархию и для уровней семантической сложности: контекстуальные предметные категории определяют классы семантической сложности (1- соответствует классу Цикл; 3- соответствует классу Задача; 5- соответствует классу Объект).

С учетом вышеизложенного, была определена совокупность правил определения типологии предметных зависимостей 1-го рода.

Статистические ПЗ-1 являются фрагментом концептуальной модели предметной задачи объектного уровня, в котором одна ПЗ-1 связана с фрагментом основной концептуальной структуры.

Исходя из этого, было выполнено формальное описание процедуры расслоения концептуальной модели предметной задачи под переменную и постоянную информацию.

Система предметных зависимостей 1-го рода (ПЗ-1) представляет множество ограничений на основную концептуальную структуру. Каждая простая ПЗ-1 по степени формализации может быть аналитической, статистической и эмпирической. Были установлены требования к формальному описанию статистических предметных ограничений. Формальное описание концептуальных представлений позволяет рассмотреть и систематизировать все ограничения, применяемые в прикладных задачах на основе типологии ограничений в единой концептуальной структуре. Данное представление моделей знаний является основой для их последующей методологической идентификации и выявления при разработке метода обработки статистических

предметных ограничений при концептуальном моделировании прикладных задач.

Концептуальная модель 1-го рода любого уровня абстрагирования для n -ой предметной задачи с учетом выполненного процесса расслоения представляется набором фрагментов модели в виде:

$$KPi.1(z) = \langle KPi_v.1(z), \overline{KPi_c.1}(z) \rangle,$$

где $z = n$ описывает концептуальную модель n -ой предметной задачи объектного уровня ($i = 2$), $z = nm$ – концептуальную модель m -ой реализации n -ой предметной задачи конкретного уровня ($i = 3$); $KP2_v.1(n)$ – фрагмент концептуальной модели под проектную информацию; $\overline{KP2_c.1}(n)$ – множество фрагментов концептуальной модели под постоянную информацию для объектного уровня.

$$\overline{KP2_c.1}(n) = \{KP2_c^w.1(n)\},$$

где $KP2_c^w.1(n)$ – множество фрагментов концептуальной модели под постоянную информацию на объектном уровне абстрагирования; индекс w – идентифицирует статистическую ПЗ-1.

$KP3_v.1(nm)$ – фрагмент концептуальной модели под проектную информацию; $\overline{KP3_c.1}(nm)$ – множество фрагментов концептуальной модели под постоянную информацию для конкретного уровня.

$$\overline{KP3_c.1}(nm) = \{KP3_c^{wp}.1(nm)\},$$

где $KP3_c^{wp}.1(nm)$ – множество фрагментов концептуальной модели под постоянную информацию на конкретном уровне абстрагирования; индекс wp – идентифицирует экземпляр статистический ПЗ-1.

Расслоение предметных зависимостей 1-го рода на простые (el) и сложные (com) формально можно представить:

$$\overline{W}(n) = \overline{W^{el}}(n) \cup \overline{W^{com}}(n)$$

Все простые ПЗ-1 по степени формализации можно классифицировать на: аналитические (an), статистические (st), эмпирические (em). Формально это можно представить:

$$\overline{W^{el}}(n) = \overline{W^{el-an}}(n) \cup \overline{W^{el-st}}(n) \cup \overline{W^{el-em}}(n)$$

Поскольку типология зависимостей обусловлена уровнем семантической сложности, то необходимо для ПЗ-1 определять ее тип с учетом уровня сложности.

Статистические ПЗ-1 соответственно можно классифицировать по типам и по содержанию (по общим аргументам).

Фрагмент концептуальной модели 1-го рода под постоянную информацию для выделенной статистической ПЗ-1 на объектном уровне может быть представлен:

$$KP2_c^{sp}.1(n) = \langle A^{sp}(n), T2^{sp}(n), \overline{W_{sp}}, R_2^{KP1-\overline{W_{sp}}} \rangle$$

где $A^{sp}(n)$ – множество предметных категорий, характеризующих ПЗ 1-го рода; $T2^{sp}(n)$ – множество бинарных отношений на предметных категориях, характеризующих s -ую ПЗ 1-го рода; $\overline{W_{sp}}$ – статистическая предметная

зависимость 1-го рода, $R_2^{KP1-\overline{w}_{sp}}$ – увязка ПЗ-1 и основной концептуальной структуры.

Для геометрической интерпретации ограничений 1-го рода использовались следующие понятия: абстрактное пространство, оси абстрактного пространства, метрики или шкалы осей абстрактного пространства.

При этом полагается, что оси имеют «разнородные» метрики и любая ось может иметь набор «неравномерных» шкал. Тогда абстрактное пространство будет определяться контекстуальной ПК, его оси – определяются структурными ПК, а метрики этих осей – набором монадических ПК.

На рис. 2 приведена геометрическая интерпретация ПЗ 1-го рода 2-го типа.

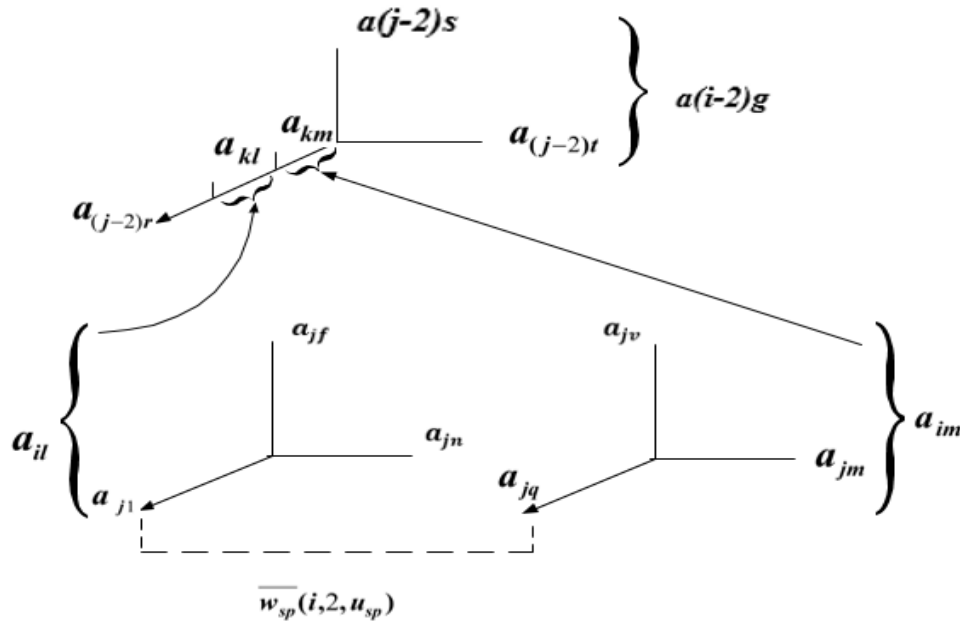


Рис.2. Геометрическая интерпретация предметной зависимости 1-го рода 2-го типа, где a_{il}, a_{im} - определяют абстрактные пространства, $a_{j1}, \dots, a_{jq}, a_{jm}, a_{(j-2)r}, a_{(j-2)t}$ - определяют оси пространств разного уровня семантической сложности, a_{kl}, a_{km} - определяют фрагменты шкал на оси

Расслоение экземпляров статистических ПЗ-1 на простые (el) и сложные (com) формально можно представить:

$$\overline{P}(n) = \overline{P}^{el}(n) \cup \overline{P}^{com}(n)$$

Все ЭПЗ-1 по степени формализации можно классифицировать на: аналитические (an), статистические (st), эмпирические (em). Формально это можно представить:

$$\overline{P}^{el}(n) = \overline{P}^{el-an}(n) \cup \overline{P}^{el-st}(n) \cup \overline{P}^{el-em}(n)$$

Экземпляры статистических предметных зависимостей 1-го рода соответственно можно классифицировать по типам и по содержанию (по общим аргументам и по их значениям).

Поскольку типология зависимостей обусловлена уровнем семантической сложности, то необходимо для систематизации экземпляров статистических предметных зависимостей определять их тип с учетом уровня сложности.

Фрагмент концептуальной модели под постоянную информацию для выделенного статистического экземпляра предметной зависимости 1-го рода на конкретном уровне может быть представлен следующим образом:

$$KP3_c^{spl}.1(nm) = \langle B^{spl}(nm), T3^{spl}(nm), \overline{p_l^{sp}}, R_3^{KP2-p_l^{sp}} \rangle$$

где $B^{spl}(nm)$ – множество экземпляров ПК, характеризующих spl –ый ЭПЗ 1-го рода; $T3^{spl}(nm)$ – множество бинарных отношений на ЭПК, характеризующих spl -ый ЭПЗ 1-го рода; $\overline{p_l^{sp}}$ – статистический экземпляр предметной зависимости 1-го рода, $R_3^{KP2-p_l^{sp}}$ – увязка ЭПЗ-1 и концептуальной структуры на конкретном уровне.

Увязка фрагментов концептуальной модели под постоянную информацию для выделенной статистической предметной зависимости 1-го рода (sp) и для выделенного статистического экземпляра предметной зависимости 1-го рода (spl) имеет вид:

$$KP2_c^{sp}.1(n) \rightarrow \{KP3_c^{spl}.1(nm)\}$$

Для геометрической интерпретации ограничений 1-го рода на конкретном уровне можно использовать следующие понятия: абстрактное пространство как совокупность точек, оси абстрактного пространства, метрики или шкалы осей абстрактного пространства и их значения.

При этом также полагается, что оси имеют «разнородные» метрики и любая ось может иметь набор «неравномерных» шкал. Тогда само абстрактное пространство будет определяться контекстуальной ПК, а его точка – экземпляром этой ПК, оси пространства – определяются структурными ПК и глобальным значением на оси – экземпляром этой предметной категории, а метрики этих осей – набором монадических ПК и их экземпляров.

На конкретном уровне монадический экземпляр ПК определяет локальную точку на фрагменте оси (глобально - структурный экземпляр ПК).

Совокупность точек на осях определяет точку в абстрактном пространстве (или контекстуальный экземпляр предметной категории).

В третьей главе изложены методические основы описания и обработки статистических предметных ограничений 1-го рода при концептуальном моделировании прикладных задач.

Под обработкой статистических предметных ограничений 1-го рода при концептуальном моделировании прикладных задач будем понимать совокупность процедур, выполняемых в рамках дополнительной обработки.

В процессе дополнительной обработки концептуальной модели, структура которого показана на рис. 3, включает в себя следующие основные процедуры: выделение статистических предметных зависимостей 1-го рода и их предварительная обработка; определение содержания для всех статистических ПЗ-1-го рода; формирование концептуальных моделей для всех статистических ПЗ-1-го рода; определение типологии для всех статистических ПЗ-1-го рода; документирование моделей для всех стат. ПЗ -го рода.

В основе дополнительной обработки лежат ограничения, налагаемые универсальным концептуальным представлением на представление предметных задач.

Исходной информацией при обработке концептуальных моделей предметных задач является результат, полученный при концептуальном моделировании в виде описаний основных конструкций концептуальной модели: спецификации (формы F1, F2), представляющие статическую структуру модели предметной задачи; спецификации (формы F3, F4), представляющие динамическую структуру (систему предметных зависимостей 1-го рода); спецификация (форма F6), представляющая концептуальную модель в целом.

Концептуальное моделирование предметных задач выполняет специалист по представлению знаний (инженер-когнитолог).

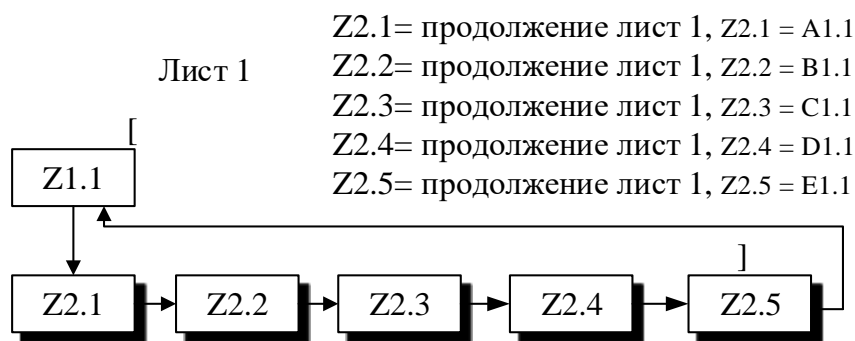


Рис.3. Декомпозиция проектной задачи «обработки концептуальных моделей – Z1.1» где Z2.1 – выделение статистических предметных зависимостей и их предварительная обработка, Z2.2 – определение содержания для всех статистических ПЗ 1-го рода, Z2.3 – формирование концептуальных моделей для всех статистических ПЗ 1-го рода, Z2.4 – определение типологии для всех статистических ПЗ 1-го рода, Z2.5 – документирование моделей для всех статистических ПЗ 1-го рода

При выделении статистических предметных зависимостей 1-го рода и их предварительной обработки выявляются элементарные предметные зависимости 1-го рода, которые имеют степень формализации как «статистическую». Далее выполняется упорядочение или ранжирование всех выделенных статистических предметных зависимостей 1-го рода.

При определении содержания для всех статистических ПЗ 1-го рода выполняется фиксация множества предметных категорий и их ролевых свойств в рамках этих зависимостей 1-го рода.

При формировании концептуальных моделей для всех статистических ПЗ 1-го рода выполняется выделение подструктуры основной статической составляющей, увязанной с данной ПЗ-1.

При определении типологии статистических ПЗ 1-го рода выполняется выделение «корневой» или замыкающей вершины в «родословной» предметных категорий и соотнесение ее с определенным типом зависимости 1-го рода.

На этапе документирования выполняется формирование документов, содержащие описания концептуальных моделей 1-го рода под постоянную информацию, которые хранятся в табличной форме.

Результатом выполнения процесса обработки концептуальных моделей являются: множество концептуальных моделей предметной задачи под постоянную информацию (для каждой статистической ПЗ-1).

Результирующая информация сохраняется как в общих формах, описывающих идентификационные характеристики конструкций концептуальной модели выделенной предметной задачи, так и в формах, описывающих содержательные характеристики этих конструкций.

Для каждой процедуры обработки выполнено формирование начальной модели в виде функциональной, информационной составляющих и их увязки. Для каждой процедуры функциональная составляющая представлена в виде частных и обобщенной диаграмм декомпозиции. Частные диаграммы представлены либо базовыми, либо типовыми алгоритмическими конструкциями. Обобщенная диаграмма представлена объединением частных диаграмм. Информационная составляющая каждой процедуры представляет множество переменных, отражающих характеристики концептуальных конструкций. Увязка функциональной и информационной составляющих для каждой процедуры представлена совокупностью матричных диаграмм (для каждой базовой или типовой конструкции).

Таким образом, начальная модель задачи «Обработка концептуальных моделей» представляет собой методику выполнения этой задачи.

Разработка данной методики позволила перейти к созданию инструментальных средств поддержки обработки статистических предметных ограничений при концептуальном моделировании прикладных задач.

В четвертой главе дана характеристика разработанных программных средств для поддержки обработки статистических предметных ограничений при концептуальном моделировании прикладных задач.

Для разработки графического интерфейса пользователя с использованием языков программирования PHP, HTML, CSS и JavaScript была выбрана среда разработки Laravel Framework, а также MySQL, которая позволяет организовать работу с базой данных. Интерфейсная составляющая инструментальных средств для выполнения дополнительной обработки концептуальной модели реализована с помощью экранного меню, запускающего каждую отдельную процедуру.

Реализация автоматизированной инструментальной среды включала организацию вычислительной среды: разработку структуры и состава информационной базы; создание необходимых таблиц, содержащих описание модели; набор программных модулей, обеспечивающих выполнение описанных выше процедур; инструкции по эксплуатации автоматизированного комплекса для пользователя и администратора системы.

В состав программного комплекса входят следующие подсистемы: управления доступом к системе; главного меню, в котором определены процедуры дополнительной обработки концептуальных моделей, предусматривающие функции просмотра и документирования; выделения всех статистических предметных зависимостей 1-го рода и их предварительной

обработки; определения содержания всех статистических предметных зависимостей 1-го рода; формирования концептуальных структур для всех статистических предметных зависимостей 1-го рода; определения типологии статистических ПЗ 1-го рода; документирования моделей для всех статистических предметных зависимостей 1-го рода.

Подсистема управления доступом предназначена для разграничения прав доступа к системе. Программный комплекс поставляется с набором встроенных учетных записей, соответствующих пользователям в зависимости от их роли (рис.4).

The image displays two overlapping screenshots of a web application interface. The top screenshot shows a login form with fields for 'Имя' (Name) and 'Пароль' (Password). A red error message is visible: 'These credentials do not match our records.' Below the login form is a blue 'Signin' button. To the right, there is a 'Создать нового пользователя' (Create new user) form with fields for 'Имя', 'E-Mail Address', 'Пароль', 'Подтвердите пароль', and 'Статус'. A blue button labeled 'Создать нового пользователя' is at the bottom of this form. The bottom screenshot shows a table with columns 'Name' and 'Project Name'.

Рис.4. Форма «Управление доступом»

Также на форме «Управления доступом» пользователь выбирает вкладку, определяющую порядок работы: либо формирование исходной информации, либо обработку концептуальных моделей.

Примеры форм программного комплекса приведены ниже: форма «Ввод данных» для работы предметного специалиста (на рис.5 а); формы для ввода, хранения и удаления данных (рис.5 б); форма меню для запуска процедур дополнительной обработки (рис.5 в); процесс выявления всех статистических предметных зависимостей 1-го рода (рис.6); процесс определения содержания всех статистических предметных зависимостей 1-го рода (рис.7).

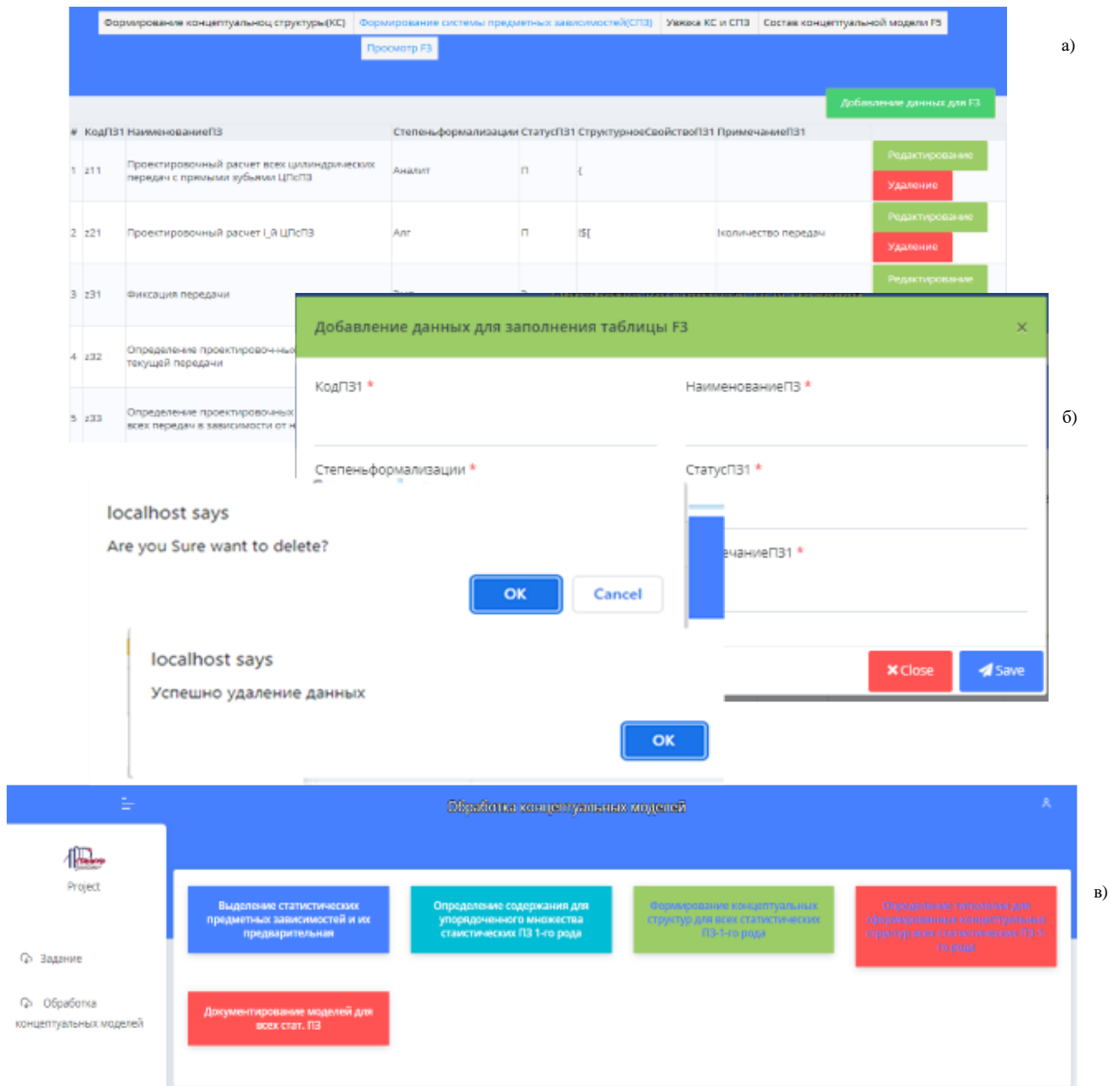


Рис.5. Форма программного комплекса: а) «Ввод данных» для работы предметного специалиста; б) Формы для хранения и удаления данных; в) Форма меню для обработки концептуальной модели

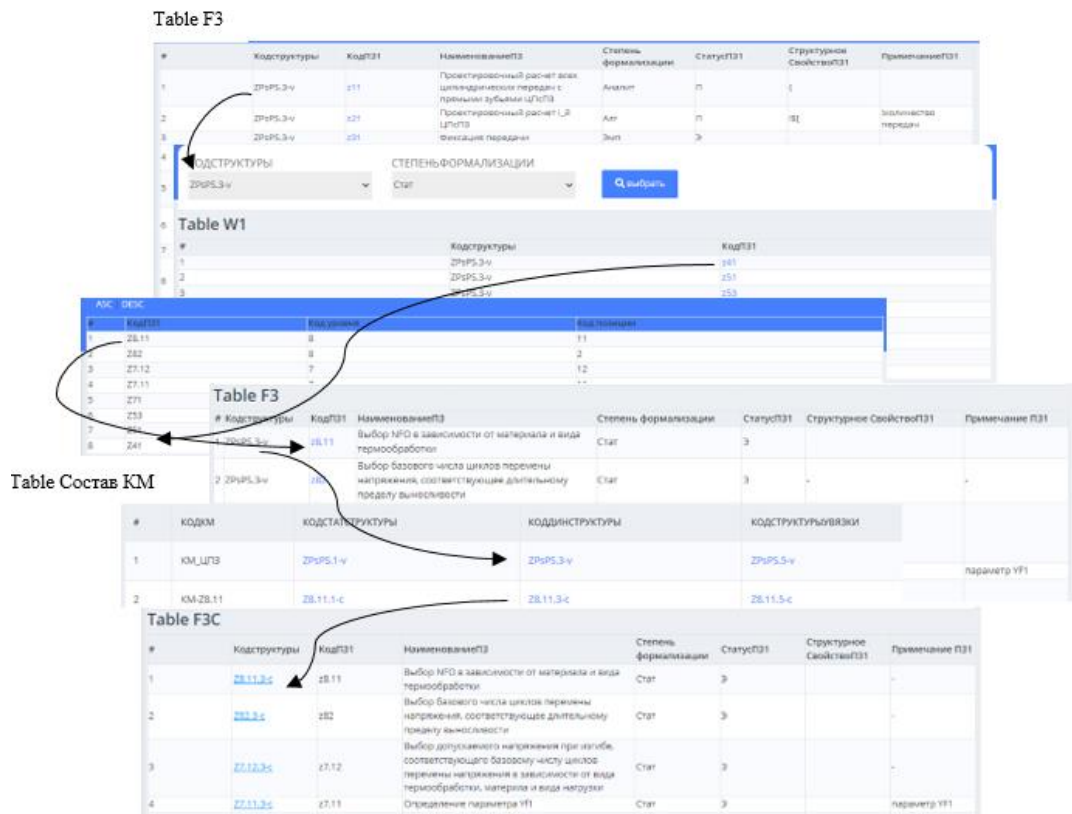


Рис.6. Процесс выявления всех статистических предметных зависимостей 1-го рода

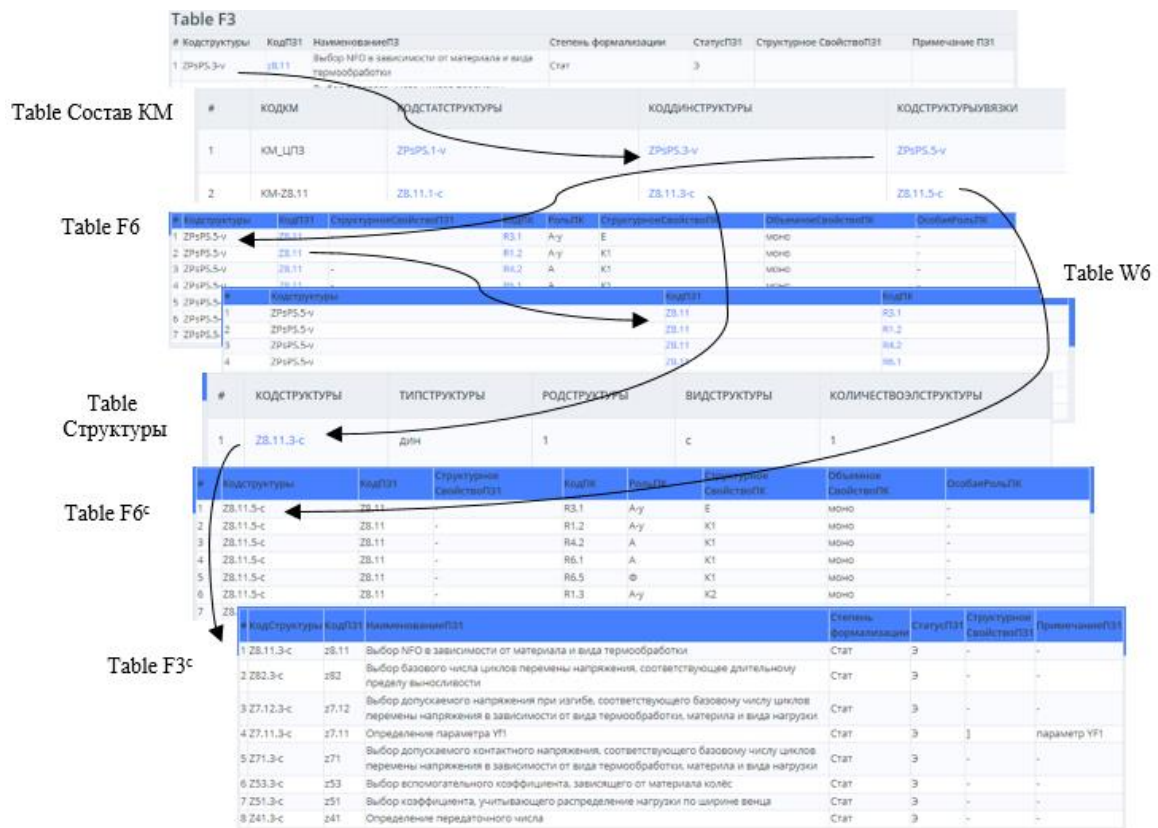


Рис.7. Процесс определения содержания всех статистических ПЗ 1-го рода

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Выполненные исследования и практическая работа позволили получить следующие выводы и результаты:

1. Диссертация представляет научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, заключающейся в повышении эффективности процесса создания прикладных автоматизированных систем и комплексов за счет разработки метода обработки концептуальных моделей предметных задач в рамках методологии автоматизации интеллектуального труда.

2. Анализ существующих методов, подходов и инструментальных средств их поддержки позволил установить, что по сравнению с методами других подходов, методология автоматизации интеллектуального труда имеет ряд преимуществ: полный набор компонентов модели и их увязка в модельном представлении; наличие закономерностей организации семантических модельных представлений в УКП; формирование КППЗ, как основы для единой интерпретации последующих формально-языковых представлений при создании прикладных автоматизированных систем.

3. Установлены связи между характеристиками моделей таблично оформленных предметных знаний и их аналитической интерпретацией.

4. Выполнено уточнение формального описания концептуального представления предметных задач, позволяющего разделить концептуальное представление на модели 1-го и 2-го родов.

5. Разработан метод обработки статистических предметных ограничений 1-го рода при концептуальном моделировании прикладных задач, включающий формальное описание концептуальных моделей 1-го рода на объектном и конкретном уровнях абстрагирования и их взаимосвязи; формальное описание расслоения концептуальных моделей 1-го рода под переменную и постоянную информацию; формальное описание типологии статистических предметных зависимостей 1-го рода и их геометрическую интерпретацию.

6. Разработанный метод позволяет систематизировать и классифицировать таблично оформленные знания, зафиксированные в технических нормативно-справочных документах машиностроительных организаций.

7. На основе формального описания концептуальных моделей 1-го рода и их конструкций была разработана методическое обеспечение в виде совокупности начальных моделей, обеспечивающее детальную проработку алгоритмов выполнения процедур.

8. На основе методического обеспечения были разработаны программные модули для процедур обработки концептуальных моделей при создании прикладных автоматизированных систем, которые расширяют возможности инструментальных средств поддержки методологии автоматизации интеллектуального труда.

9. Методическое обеспечение и программные средства были использованы при подготовке специалистов по направлению «Информатика и вычислительная техника».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в перечень ВАК:

1. Волкова Г. Д. Сравнительный анализ методов семантического моделирования: ERA-модель Чена и метод концептуального моделирования в методологии автоматизации интеллектуального труда (МАИТ) / Г. Д. Волкова, Н. Х. Ньи // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. -2020. -№04. -С. 52-54.

2. Ньи Ньи Хтве. Разработка формального аппарата для описания и обработки концептуальных моделей / Ньи Ньи Хтве., Г. Д. Волкова, О.Г. Григорьев // Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2023. – Т. 73, № 3. – С. 40-51.

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в систему Scopus:

3. Htwe, N. N. Processing of Conceptual Models of Subject Problems for Extracting Knowledge from Technical Documentation / N. N. Htwe, G. D. Volkova, K. K. Zan., T. B. Tyurbееva // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021. – P. 2185-2189.

Публикации в других изданиях:

4. Хтве, Н. Н. Формальное описание классификации и обработки концептуальной модели объектного уровня для предметной задачи / Н. Н. Хтве, Г. Д. Волкова, Т. Б. Тюрбеева // Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал: Материалы III всероссийской научно-практической конференции, Вологда, 25 сентября 2020 года. – Вологда: Общество с ограниченной ответственностью "Маркер", 2020. – С. 73-78.

5. Ньи, Н. Х. Формальное описание процедуры обработки концептуальной модели / Н. Х. Ньи, Г. Д. Волкова // Машиностроение: традиции и инновации (МТИ - 2020): Материалы XIII всероссийской конференции с международным участием, Москва, 26 октября – 06 ноября 2020 года. – Москва: Московский государственный технологический университет "СТАНКИН", 2020. – С. 298-305.

6. Волкова Г. Д. Формальное описание классификации и обработки концептуальной модели конкретного уровня для предметной задачи / Г. Д. Волкова, Н. Н. Хтве // XXVIII конференция «Математика. Компьютер. Образование – 2021» МКО-2021, 25-30 января 2021 г.: Тезисы докладов., М.: 2021. – 212 с. 49.

7. Хтве, Н. Н. Разработка формального описания типологии статистических предметных ограничений при концептуальном моделировании прикладных задач / Н. Н. Хтве, Г. Д. Волкова // Вестник МГТУ «Станкин», 2021. - №2(57) – С. 13-19.