

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КЛИНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ¹

Долгополов И.Н.

Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем,
Киев, Украина

Постоянно нарастающие объемы информации в клинической медицине к концу 80 -х годов приобрели характер информационного взрыва. На этапе клинической диагностики (КД) врачам приходится оперировать не только уже ставшей рутинной информацией (о состоянии здоровья пациентов, о результатах лабораторной диагностики, об истории анамнеза, о динамике развития наблюдаемого процесса, о методах лечения конкретного заболевания), но и информацией о многочисленных новых диагностических методиках с учетом необходимости оценки их результатов. В условиях естественной динамики объекта наблюдения, когда одно заболевание больного сменяется другим, возвращается вновь или добавляется к уже имеющимся, происходит обновление указанных позиций с прогрессивным ростом всех диагностических показателей. Этот поток информации, определяемый уровнем развития медицины и в конечном счете знаниями врача, удваивается каждые три года [1]. Обработка такого объема клинической информации в рамках существующих технологий силами медицинского персонала становится практически невозможной. При этом необходимо не утратить многочисленных знаний и сохранить клинический опыт для принятия квалифицированных решений.

Необходимость обработки больших объемов информации различных типов данных требует в КД качественно новой организации их представления и хранения, а также совершенствования методов обработки информации. Этого невозможно достичь без современной компьютерной техники и новых информационных технологий (НИТ). В настоящей статье ИТ рассматриваются как совокупность методов и средств подготовки диагностической информации к принятию врачебных решений [2]. Однако если с ИТ традиционно связывались технологии баз данных (БД), то новые информационные технологии основываются на базах знаний (БЗ) и интеллектуальных процессах обработки информации. Становление интеллектуальных ИТ обусловлено развитием алгоритмов и программ обработки информации нечисловой природы. Посредством семантических сетей, фреймов, продукционных систем и логических конструкций, характерных для оценки действий во времени и пространстве с учетом цепочек каузальных связей разработаны логико - лингвистические модели. В отличие от математических моделей, которые строятся на синтаксической основе, логико - лингвистические носят семантический (понятийно/смысловой) характер и во многом фиксируют конкретность определенной ситуации. Поэтому они обычно представляются в описательном виде, в вербальной форме, не подлежащей представлению математическими моделями [3]. Благодаря логико - лингвистическим моделям стала возможна алгоритмизация предметных знаний (ПрЗ) и практическая деятельность в трудно формализуемых предметных областях (ПрО) описательного характера, где ПрЗ фиксируются в виде

¹ УДК.003.13.681.3.068

текстов, а возникающие проблемы решаются на основе логических рассуждений. К таким ПрО относятся биология, медицина и другие науки.

В виду сложности и многообразия структур медицинских ПрЗ, в разных ситуациях диагностического процесса (ДП) с целью достижения простоты и однородности понимания могут использоваться различные модели их представления: логическая модель, продукционная модель, модель, основанная на фреймах, семантические сети [4]. Основу этих моделей составляют процессы формализации ПрЗ и доказательный вывод с последующей их интерпретацией.

Модель представления знаний, основанная на фреймах, введенных М. Минским, или фреймовая модель в определенной степени переносит идеи психологического моделирования памяти и мышления человека на математическую основу. Каждый фрейм - это данные, описывающие определенный объект, дискретно отражаемый в сознании человека как концептуальное целое. В переводе с английского фрейм - это "рамка", внутри которой находится информация о выбранном объекте. В основе метода представления ПрЗ с помощью фреймов лежит психологическое допущение о том, что наше мышление имеет дискретный, т.е. ситуационный характер и восприятие фактов производится посредством их сравнения. Для задач КД предметом сравнения являются, с одной стороны - понятийные знания концептуального характера - академическое "внеличностное" описание болезней, с другой - предметные знания, на основании которых необходимо диагностировать болезни у конкретного больного с определенным набором признаков их индивидуального проявления. В случае совпадения понятийных и предметных знаний диагноз можно считать установленным.

Основу любого формального представления ПрЗ составляют концептуальные объекты. Для концептуального моделирования разработаны различные формализмы, в том числе формализмы объектно-ориентированного моделирования, где помимо отношений между классами имеются отношения между объектами, реализуемые посредством сообщений. Последние очень близки фреймовым представлениям: переменные и процедуры их обработки образуют как объекты, так и фреймы; оба имеют иерархическую структуру, основанную на отношениях типа IS-A. Структурное и функциональное подобие дополняется тем, что управление процедурами выполнения производится посредством передачи сообщений между объектами, что соответствует механизму управления выводом путем передачи сообщений между фреймами. Базовое множество объектов информационной среды проектирования автоматизированных систем КД задается согласно предложенной методике [5]. Исходя из того, что ПрЗ в КД могут быть дифференцированы от единого элементарного признака до семантически значимых групп объектов, условной информационной единицей их представления и одновременно средством описания выбран фрейм.

Настоящая работа посвящена проектированию интеллектуальной автоматизированной системы КД. Используемая технология проектирования систем данного класса основана на методах и средствах представления и обработки ПрЗ с помощью фреймов. Этот класс систем можно представить следующим образом:

$$W = \{ M, S, A, \Omega \},$$

(1)

где M , S - методы и средства используемой технологии, A - аксиоматика, Ω - используемая сигнатура имен отношений.

Рассмотрим основные принципы технологии проектирования.

1. *Базовый тип.* В процессе программирования усложнение структур данных эволюционизировало от линейно - упорядоченной совокупности двоичных символов

машинных слов через векторы, матрицы, списки, до абстрактных типов данных. В результате произошел переход от программ, предназначенных для вычислений, к программам, ориентированным на символьное преобразование. При этом усложнение структур данных обусловило введение специальных полей для хранения вспомогательной информации (индивидуальные имена, разнообразные отношения, процедуры). Это привело к появлению оболочки, имеющей технологически самостоятельный характер, превращаясь при заполнении в отдельную информационную единицу знаний - фрейм.

В целях эффективного использования технологии фреймов для отражения в диагнозе всей совокупности ПрЗ о болезнях, требуется базовый фрейм, в рамках которого строятся фреймы составляющих его подструктур. Например, фрейм диагноза строится из подфреймов анамнестических данных, жалоб, данных инструментального обследования; фрейм анамнестических данных состоит из факторов риска и перенесенных заболеваний; фрейм факторов риска - из факторов внутренней и внешней природы и т.д. Наиболее эффективна такая форма представления ПрЗ тогда, когда формирование иерархии фреймов происходит в рамках обозначенного информационного пространства конкретной ПрО. В каждом фрейме на верхнем уровне представляется информация, имеющая фиксированное значение: названия болезней, имена признаков их состояний, являющихся неоспоримой и установленной истиной. Ниже находится множество терминальных слотов, которые заполняются конкретными значениями признаков состояния обследуемых. Далее в ролевых слотах задаются условия, которые выполняются при установлении определенных значений признаков и их отношений.

В качестве исходных признаков состояния пациента, заполняющих фрейм текущего обследования, выступает вся совокупность данных о нем находящихся в БД, собранных к этому этапу ДП. Необходимой предпосылкой перехода от данных к знаниям является наличие процедур внутренней интерпретации, наследование, установление различных связей, введение отношений на слотах, а также использование присоединенной процедуры, с помощью которой переходят к выполнению программ, имена которых указаны в слотах. Вся совокупность этих процедур определяет суть НИТ, в рамках которых система оперирует уже не данными в традиционном понимании, а знаниями.

Логические связи между признаками описываются с помощью как конъюнктов (и), дизъюнктов (или), импликатов (если ..., то), так и отрицания. Дизъюнктивные связи используются для отражения нечеткости и неопределенности, свойственных медицинским знаниям. А отрицание позволяет уничтожить многочисленные "миры", порождающиеся при формировании фрейма - прототипа, минимизируя при этом число возможных гипотез. Пример использования логических связей в заполненном фрейме кардиалгии представлен в табл.1. Эту таблицу можно записать в виде логического высказывания $\mathbf{B \rightarrow K}$, где $\mathbf{K}$ - кардиалгия коронарного происхождения, $\mathbf{B}$ - боли в области сердца и их характеристики: $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$.

$$(a_1 \cap a_2) \cap (a_3) \cap (\neg a_4 \cap \neg a_5 \cap \neg a_6) \supset K \quad (2)$$

В ПрО клинической диагностики простейший импликат состоит из одного слова, а самый большой из шестнадцати слов.

Таблица 1

Имя слота	К а р д и а л г и я коронарного происхождения			
	Номер слота	Логическая операция	Указатель наследования	П р и з н а к

	1	и	1	По характеру возникновения:
a ₁	2	и	1.1	периодические
a ₂	3	и	1.2	приступообразные
	4	и	2	Время нарастания болей
a ₃	5	и	2.1	больше времени исчезновения
	6	и	3	Причиной приступа являются:
a ₄	7	и не	3.1	простуда и ее осложнения
a ₅	8	и не	3.2	употребление пищи
a ₆	9	и не	3.3	изменение положения тела

2. *Процесс сопоставления.* Этот процесс рассматривается при сопоставлении фрейма - образца, который содержит идеальную информацию об актуальных для настоящего обследования объектах (возможны как клинические нозологические формы, так и составляющие их компоненты), с фреймом - прототипом, в котором собраны факты, отражающие объективную реальность рассматриваемого состояния исследуемого субъекта (пациент, обследуемый). Обычно такой процесс управляется текущей целью данного этапа ДП и фактической информацией, имеющейся в данном фрейме - прототипе. Фрейм - образец содержит концептуальные знания, образующие определенную диагностическую форму во всех аспектах ее возможного проявления, доступных для регистрации в рамках рассматриваемой диагностической системы. С учетом этого фрейм - прототип содержит интегрированные данные о жалобах, факторах риска, перенесенных заболеваниях, результатах объективного исследования и другой фактический материал, который накапливается в БД на протяжении ДП.

Хотя результат сопоставления двух фреймов может иметь пять состояний, остановимся на трёх, актуальных для настоящей системы: - полного совпадения (ПС) при совпадении фрейма - образца и фрейма - прототипа, в этом случае ДП на этом этапе считается законченным и по собранным клиническим данным устанавливается соответствующее им состояние в терминах существующих классификаций и номенклатур болезней, т.е. формируется диагноз:

- частичного совпадения (ЧС) когда собранные данные не полностью совпадают с фреймом - образцом или частично совпадают с несколькими фреймами - образцами с указанием приоритета совпадений;

- полного несовпадения (НС) собранных данных с имеющимися в классификаторе диагностической системы образцами. Как правило, в собранных данных всегда имеются общие признаки проявлений каких-либо болезней, так что это состояние процесса сопоставления можно считать крайним случаем проявления второго его состояния. Структурно процесс сопоставления отображен на рис. 1.

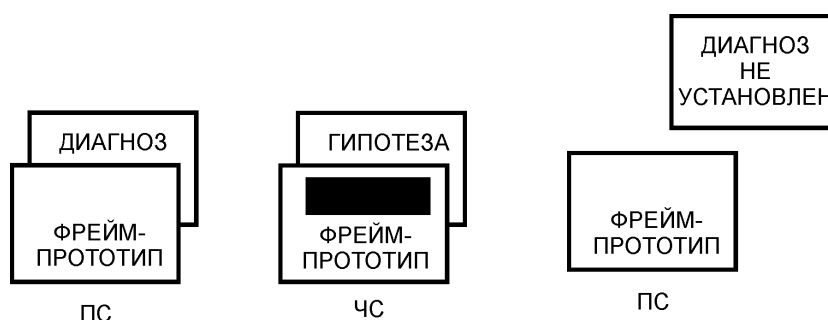


Рис. 1.

В поисках полного сходства, с учетом результатов второго и третьего состояния



Рис.2 Граф кардиалгий

процесса сопоставления, в дальнейшей технологии обработки фрейма - прототипа используется метод генерации и дифференциации гипотез (МГДГ), в рамках которого происходит опровержение или подтверждение ложноопределенных признаков, а также поиск в БД тех, которые не были определены.

3. Иерархическая структура. Как уже было отмечено, концептуальному знанию КД свойственна иерархичность. Согласно этим представлениям фрейм, содержащий такие данные, также будет иметь иерархическую структуру. Особенности такой организации ПрЗ заключаются в том, что вырастающее из корневого понятия дерево с "ветвями" и "листьями" будет содержать информацию обо всем, лежащем ниже корня на

графе или выше - на дереве, т.е. ветви дерева и его листья графически отображают глубину вложенности информации, находящейся в корневом понятии. Например, лист дерева классификации гипотез болезней характеризующихся наличием болей в области сердца, находящийся на ветви под названием стенокардия, имеет корневое определение их происхождения как коронарной природы. Графически отраженное дерево, ветви которого не имеют понятийных сущностей, называется графом. Дерево, ветви которого связаны между собой называется кустарником, оно относится к системно - сложным ПрО, имеющим особую трудность в логическом описании. К таким ПрО относится совокупность нозологических форм кардиологической и некардиологической патологии объединенных на основе наличия болей в области сердца или кардиалгий. На рис. 2 показан граф такой ПрО. Логическая связь листьев на одной или разных ветвях в объектах КД, имеющих иерархическую структуру, будет рассмотрена ниже.

1. *Межфреймовые сети.* Учитывая, что концептуальному знанию свойственна иерархия, понятийные знания выстраиваются в иерархическую структуру фреймов с определенными обобщающими и классификационными свойствами, образуя сеть. Сам фрейм тоже можно рассматривать как сеть, состоящую из нескольких вершин и отношений. Вопрос межфреймовых сетей для настоящей статьи актуален в двух аспектах: 1) при рассмотрении межфреймовых сетей как средства описания ПрЗ в виде системно связанных и иерархически организованных объектов, 2) при сопоставлении фрейма -

прототипа как фрейма, отображающего собранные знания о диагностируемом объекте (обследуемый, пациент), и фрейма - образца, отражающего концептуальное описание выявляемых нарушений состояния в виде набора диагностических признаков. В случае отсутствия полного вложения или прямого совпадения фрейм - прототип должен быть сравним с другими малоразличаемыми фреймами, по которым происходит селекция их перебора до полного или максимального совпадения. Если поиск по образцу оказался не эффективным, его следует продолжить по аналогии. Такой поиск осуществляемый с использованием указателей различия фреймов, возможен только при соединении их в виде сети. Например, если боли в области сердца имеют реакцию на Ntr, то это означает коронарную их природу; отсутствие реакции свидетельствует о их некоронарогенном происхождении; отсутствие флагоподобных изменений на ЭКГ при выраженных болях в области сердца означает хроническую форму ишемической болезни сердца (ХИБС) - стенокардию, их наличие свидетельствует об острой форме ИБС - инфаркте миокарда. Такая сеть называется сетью подобия по Уинстону (рис. 3).

Как видим, при рассмотрении указателей различий отчетливо выступает структура семантической сети, в рамках которой предлагаемый способ представления ПрЗ позволяет делать вывод благодаря механизму наследования. В таких случаях, фреймовая система включает и семантическую сеть.

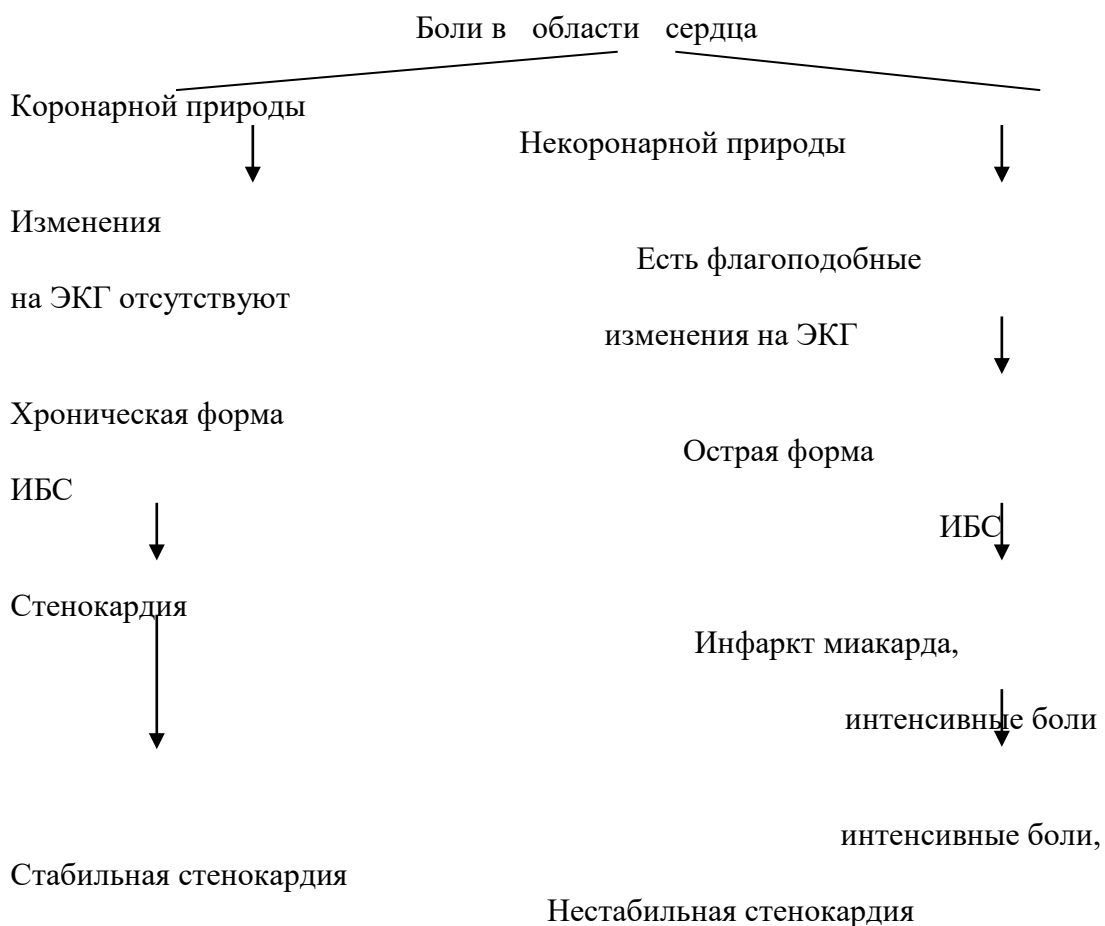


Рис.3.

5. *Значения по умолчанию.* Проектирование ПрЗ средствами фрейма можно представить как распределение конкретных их значений между терминальными слотами фрейма. Естественно, мыслимые пределы знаний, как правило, шире ограничивающей их рамки фрейма. В тех случаях, когда предполагаемые значения ПрЗ находятся за границей

конкретного фрейма, или еще не собрано ко времени проводимого ДП, они называются значением по умолчанию. Например, при описании локализации болей за грудиной предполагается, что грудина находится посередине и спереди грудной клетки и разделяется на три сегмента: верхний, средний и нижний, а в случае стенокардии напряжения, в промежутках между редкими приступами больной чувствует себя здоровым. Выводы, получаемые на основании значений по умолчанию, называются выводами по умолчанию. Часто такой тип вывода является средством выдвижения гипотез, на основании которых можно целенаправленно собирать недостающую информацию. Практически все случаи несовпадения прототипа и образца заканчиваются выводом по умолчанию. Однако такой тип вывода эффективен только в тех системах, в которых существуют эффективно действующие межфреймовые сети и демоны.

6. Структурообразующие формализмы. Аналитические исследования ПрЗ показали, что типовая их структура в виде иерархически организованных объектов - концептов в силу своих особенностей основывается на ряде отношений. В настоящее время известно более 200 таких типов, однако в задачах формализации ПрЗ клинической диагностики используется ограниченное множество, составляющее отношенческий базис. Наиболее продуктивно проработаны отношения "абстрактное - конкретное" и "часть - целое".

Отношение абстрактное - конкретное характеризуется тем, что на верхних уровнях расположен объект - концепт абстрактного характера типа боли в области сердца, а на нижних уровнях - объекты, раскрывающие их суть: локализацию, интенсивность, причины возникновения и исчезновения и т.д. Эти отношения иногда называются отношениями типа IS-A или KIND-OF. В первом случае раскрывая содержание понятия болей, они указывают, что сердечные боли бывают интенсивными, и приступообразными и т.д., а во втором случае, раскрывая объем этого понятия они указывают на то, что сердечные боли есть клиническое проявление различных болезней. Особенностью отношения абстрактное - конкретное является то, что объекты низших уровней наследуют атрибуты объектов верхних уровней.

Рассмотрим отношение часть - целое, которое относится к средствам анализа структур и показывает, что объект нижнего уровня является частью объекта верхнего уровня. В этом случае объектами нижних уровней не наследуются свойства объектов верхнего уровня. Например, жалобы не наследуют названий болезней. Они лишь являются их частью. Учитывая, что наследование свойств является необходимым условием для логического вывода, наибольшее распространение во фреймовых системах получили отношения абстрактное - конкретное. В целом, системное описание объектов или содержание их понятий описывается отношениями IS-A, а их объемы - отношениями PART-OF. Однако отношения PART-OF, вследствие невозможности использования наследования свойств атрибутов, не имеют преимуществ моделей фреймов. В таких случаях необходимо применять другие методы представления знаний. Кроме указанных отношений, существует несколько таких, которые присутствуют практически в любой ПрО. Это отношение "экземпляр - класс", "член - множество", "вид - род". Для этих отношений характерна определенная форма абстракции, и с учетом их роли в процессе концептуального моделирования ПрЗ, они называются структурообразующими формализмами [6]. Первый структурообразующий формализм - классификация. В основе его лежит отношение эквивалентности. Оно позволяет перейти от отдельных объектов, имеющих одинаковые свойства, к одному объекту более высокого уровня абстракции - классу объектов. Классификация определяет отношения между классом объектов, описываемых в схеме, и экземплярами этого класса, содержащихся в БД. Класс объектов

должен обладать не только всеми свойствами, иммонентных экземплярам данного класса, но иметь особые неаддитивные свойства, характеризующие класс как новое целое.

Классификация может осуществляться как с помощью традиционной абстракции - от отдельных объектов к одинаковым их свойствам, так и путем конкретизации - от общих свойств к объектам. В диагностической практике классификация осуществляется от общих признаков проявления болезни к конкретному классу состояний различных заболеваний, руководствуясь при этом заданными формами - образцами.

Если классификация описывает отношения между объектами разного уровня (например, симптом - болезнь), то такие структурообразующие формализмы как агрегация, обобщение, ассоциация используются для установления отношения между объектами одного уровня (в нашем примере болезнями или их признаками).

Агрегация - это структурообразующий формализм, в котором отношения между объектами рассматриваются, как отношения между компонентами агрегата, самостоятельного объекта более высокого уровня абстракции. Например, дата рождения является агрегатом по отношению к составляющим ее компонентам: дню, месяцу году, а формы стенокардии являются компонентами агрегата ХИБС (см.рис.2), т.е. агрегация поддерживает также отношения между классами объектов часть - целое.

Обобщение - это такой структурообразующий формализм, в котором отношения между объектами на графе рассматриваются через ближайший корневой объект более высокого уровня абстракции. Например, классы объектов "миокардит" и "кардиопатия" являются видами по отношению к родовому классу объектов "некоронарогенные заболевания", т.е. обобщение поддерживает отношение между классами объектов вид - род.

Ассоциация - это такой структурообразующий формализм, в котором отношения между объектами на графе рассматриваются через главный корневой объект приоритетного уровня абстракции. Например, стенокардия DE NOVO и миокардит могут быть отнесены к заболеваниям сердца, имеющим общий симптом - кардиалгию. Иными словами ассоциация поддерживает отношение член - множество. Необходимо отметить, что такое важное общее качество для приведенных выше формализмов, как наследование свойств в поддерживающих их конструкциях проходит в разных направлениях. Так, агрегация и ассоциация поддерживают наследования свойств снизу - вверх, т.е. свойства объектов - компонентов присущи и объектам - агрегатам множества, а обобщение поддерживает наследование свойств сверху - вниз, т.е. свойства родового объекта присущи и объекту вида. Использование структурообразующих формализмов позволяет при однократном описании свойств какого-либо объекта сохранять их во всех отношениях, в которые вступает указанный объект, достигая при этом высокую компактность описания ПрО.

Многократные применения таких структурообразующих формализмов, как обобщения, агрегация и ассоциация, порождают соответственно три типа иерархий классов объектов. На каждом этапе композиции - декомпозиции существует определенный порядок следования указанных видов абстракций. Для установления иерархии по обобщению класса объектов ИБС необходимо ИБС отнести к родовому классу, а ее формы - к классу объектов, являющихся ее видами (острая, промежуточная, хроническая). Реализация отношения от вида к роду называется операцией интерпретации. Обобщая подмножества свойств в классах различных форм ИБС с помощью новой абстракции, реализующей отношения от заданных свойств к объектам, можно получить их конкретизацию в виде класса объектов стенокардия. В результате фрагмент одной ветви иерархии будет иметь вид: ИБС, хроническая форма, стенокардия,

стенокардия напряжения, стенокардия DE NOVO. Необходимо, чтобы каждый класс объектов входил одновременно во все возможные отношения классов объектов. Например, класс стенокардия входит в иерархию по агрегации, выступая в качестве объекта агрегата по отношению к классу объектов: жалобы, факторы риска, данные инструментального обследования, и может одновременно входить в отношение по ассоциации, как член множества заболеваний, имеющих боли в области сердца. Этим достигается многоаспектность доступа пользователей к одним и тем же данным.

Рассмотренные структурообразующие формализмы в проектируемой системе используются при генерации и дифференциации гипотез, необходимых для процесса поиска образца в БД. Задавая на множестве фреймов набор отношений различного типа можно построить модель ПрО, которая с учетом имеющейся сигнатуры трактуется как модель **М** сигнатуре **W**:

$$\mathbf{M} \leq \mathbf{Q}, \{\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_n\} >, \quad (3)$$

где **Q** - базовое множество объектов, **r₁, ..., r_n** - множество отношений на **Q**, при этом **n** ≥ 0. Введение сигнатуры позволяет описывать не только конкретную модель, но и указывать ее класс [7].

Фрейм как носитель условной единицы знаний имеет свою типовую структуру. Рассмотрим структуру фрейма (см. табл. 2).

Таблица 2

Имя слота	Имя фрейма								
	Указатели наследования				Указатели атрибутов	Значение слота	Д е м о н ы		
	U	S	R	O			IF-Added	IF-Added	IF-Added
Слот 1									
Слот 2									

1. *Имя фрейма.* Каждый фрейм имеет свое уникальное имя, единственное в данной системе, которое служит для его идентификации. Как правило, фреймы не имеют фиксированного количества слотов. Они задаются средой проектирования для выполнения специфических функций или определяются пользователем. В их число входят слот, указывающий фрейм - родителя рассматриваемого фрейма, и слот, указывающий его потомков, а также слот для ввода даты создания, его изменения и т.д. При этом каждый слот имеет свою структуру данных.

2. *Имя слота.* Во фрейме каждый слот имеет свое уникальное имя. Часто имя не несет никакой функциональной нагрузки и является лишь его идентификатором. Однако в некоторых случаях оно может иметь прямой определенный смысл, например, DRESENDANTS (указатель дочернего фрейма), FINERBY (пользователь, определяющий данный фрейм), DEFINEDON (дата определения фрейма), MODIFIEDON (дата модификации фрейма), COMMENT (комментарии), а также другие имена, типа RELATIONS и т.д. Слоты с такими именами называются системными, они используются для редактирования БЗ и управления выводом.

3. *Указатели наследования.* Данные указатели относятся к фреймам, имеющим иерархическую структуру, основанную на отношении абстрактное - конкретное и показывают, какие свойства атрибутов слотов верхнего уровня наследуют слоты нижнего уровня. К типичным указателям наследования относятся UNIQUE (U - уникальный),

SAME (S - такой же), RANGE (R - установление границ), OVERRIDE (O - игнорировать) и т.п. Указатель U поясняет, что каждый нижележащий фрейм может иметь слоты с различными значениями; S - все слоты должны иметь одинаковое значение; R - значения слотов фреймов нижнего уровня должны находиться в пределах, указанных значениями слотов фрейма верхнего уровня; O - при отсутствии указания значение слотов фрейма верхнего уровня становится значением слота фрейма нижнего уровня. В табл. 3. в качестве примера приведены указатели наследования, используемые для оценки веса в рассматриваемой системе.

Таблица 3.

Обследуемые	Указатели наследования		
	U, кг	R, кг	0, кг ↓
Взрослый человек			
N 167	81	54-240	
Подросток	38	34-88	59

4. *Указатели типов данных.* Здесь указывается имеет ли слот численное или какое-либо другое значение: FRAME (указатель), INTEGER (целый), REAL (действительный), BOOL (булев), LISP (присоединенная процедура), TEXT (текст), LIST (список), TABLE (табл), EXPRESSION (выражение) и и.д.

5. *Значение слота.* При указании значения слота, необходимо что бы оно совпадало с указанным типов данных этого слота, а также должно быть указано условие его наследования.

6. *Демон.* Если при обращении к слоту выполняется некоторое условие и в результате запускается какая-то процедура, то весь этот процесс актуализации процедуры называется демоном. Для настоящей системы актуальны демоны трех типов. Демон IF-Needed запускается, если в момент обращения к слоту его значение не было установлено. Например, при оценке результатов инструментального обследования значение слота уровня артериального давления (АД) осталось нулевым, в этом случае запускается требование о необходимости повторения процедуры измерения. Демон IF-Added запускается при наличии какого-то значения. Например, при появлении в слоте информации о перенесенном инфаркте миокарда запускается проверка в БД эффективности реабилитационных мероприятий. Демон IF-Removed запускается в случае отсутствия значения слота. Например, при проверке эффективности реабилитационных мероприятий значение самих мероприятий оказалось неопределенным.

7. *Присоединенная процедура.* В качестве значения слота помимо декларативных знаний можно использовать программу процедурного типа, называемой в языке LISP служебной. Одним из основных достоинств фреймовой модели представления ПрЗ является объединение системных процедурных функций с процедурными функциями ПрЗ [8]. Демоны и присоединенная процедура являются представителями процедурных знаний. Присоединенная процедура запускается по сообщению, полученному из другого фрейма. Как видим, демоны, являясь разновидностью присоединенной процедуры, выступают в качестве супервизора, инициализирующего процессы в рамках указанной технологии. В связи с тем, что в методе представления ПрЗ с помощью фреймов отсутствует собственный механизм управления выводом, как правило, этот механизм реализуется с помощью присоединенной процедуры. В некоторых системах, например ZERO, в качестве присоединенной процедуры допускается применение функций PROLOGA [9].

По типу вывода существующие экспертные системы (ЭС) подразделяются на системы с прямым, обратным и двунаправленным выводами. При прямом выводе оценка приостанавливается в узлах с отрицанием, а в качестве заключения используется гипотеза, соответствующая верхнему уровню дерева. Для такого вывода, характерного для ЭС первого поколения, созданных на продукциях, используется избыточно большой объем промежуточных данных и их оценок, не имеющих прямого отношения к заключению. Преимущество обратного вывода заключается в том, что оцениваются только части дерева, имеющие отношение к заключению. В двунаправленном выводе, называемом немонотонным, полученные данные оцениваются относительно выдвигаемой гипотезы, для подтверждения которой запрашиваются новые данные из БД. Совокупность циклов <данные - гипотеза - неподтверждение - данные> позволяет реализовать, по - видимому, наиболее мощную систему вывода, используемую в проектируемой системе (на рис.4 показана структурная схема цикла немонотонного вывода, где МГДГ - метод генерации и дифференциации гипотез, БД - база данных). В случае устойчивого несовпадения фрейма - образца и фрейма - прототипа в рассматриваемой системе происходит так называемый back tracking, когда узел отрицания обобщается и обработка фрейма - прототипа на графе происходит на новом уровне.

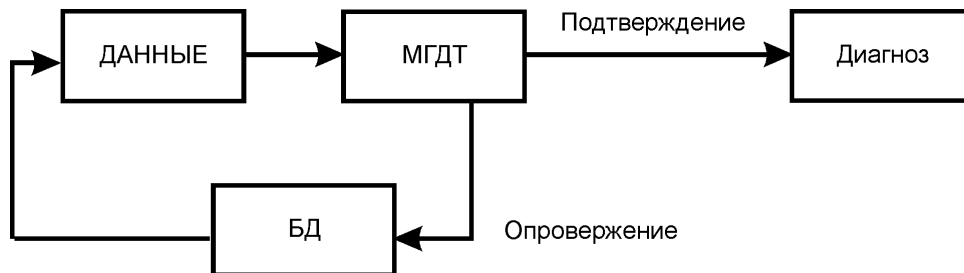


Рис.4

Традиционно с понятием вывода в технологии фреймов связывается присоединенная процедура, с помощью которой обеспечивается механизм управления выводом. Однако, она в основном реализуется на сетях фреймов. Для решения локальных задач на этапе ДП в проектируемой системе используются различные механизмы вывода: результаты адаптивного интервьюирования или жалобы формулируются с помощью вывода на семантических сетях, первичная гипотеза о собранном фрейме - прототипе определяется в результате логического вывода и т.д.

Во избежание терминологического искажения прямое заимствование терминов необходимо исключить. В условиях отсутствия в технологии фреймов собственной терминологической базы относительно вывода, необходимо уточнять, что имеется в виду - сам механизм вывода или его аналог. Например, при оценке фрейма - прототипа на графе возможных гипотез осуществляется аналог немонотонного вывода.

Технология фреймов на современной вычислительной технике эффективно работает на задачах любой размерности, однако для получения гибкого и быстрого вывода при значительном объеме первичных фактов необходима предварительная декомпозиция правил и первичных данных.

Предложенная в качестве модели знаний доска объявлений (black board) в системах распознавания разговорной речи оказалась в достаточной степени продуктивной и для задач КД [10]. Построенная по иерархическому принципу, она содержит несколько уровней. На верхнем уровне находятся итоговые заключения, а на нижнем - первичные

факты, между ними - промежуточные гипотезы. Вводимые клинические признаки синтезируются в цикле от симптома - симптомо-комплекса - синдрома - ведущего синдрома - гипотезы в диагноз. Переход на вышележащий уровень определяется набором соответствующих продукций (см. рис. 5). Восходящий вывод (индукция) называется выводом, управляемым данными, нисходящий - выводом (дедукция) , управляемым моделью, и они соответствуют прямому и обратному выводам. В проектируемой системе доска объявлений служит для топической диагностики фрейма - прототипа и оценки порождающих МГДГ гипотез.

Процесс проектирования интеллектуальных систем традиционно считается очень трудоемким. Создания ЭС на производственной основе требует от 19.7 до 77.7 человеко/месяцев, а с помощью технологии фреймов от 13.2 до 23.5 человеко/месяцев [11].

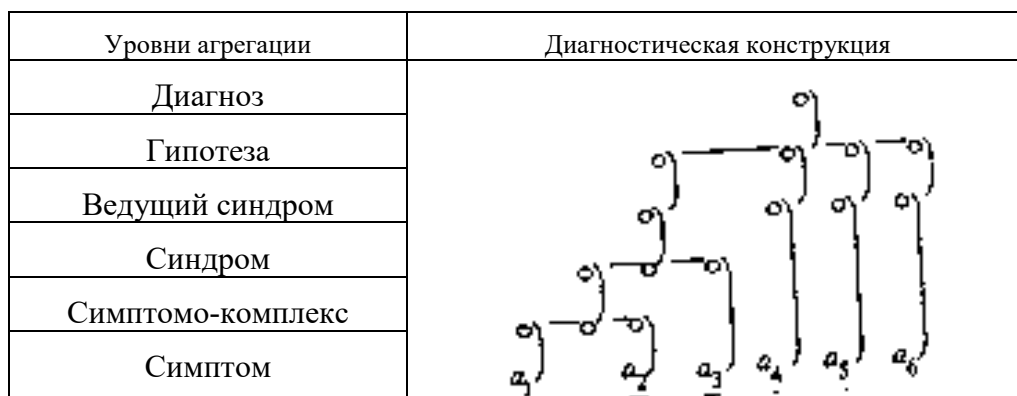


Рис.5

На основе описанной технологии фреймов, которая инвариантна природе знаний, проектируется экспертная система кардиологической диагностики (ЭСКОРД). Эта система относится к ЭС второго поколения, так как в основе проекта лежат не знания экспертов, а ПрЗ внеличностного характера и методы их проектирования. ЭСКОРД предназначена для работы в составе как автоматизированных систем массового медицинского обслуживания, так и в качестве индивидуального автоматизированного рабочего места (АРМ) врача - диагноста. Возможности разрабатываемой системы позволяют одновременно обрабатывать диагностические признаки количественного (результаты автоматизированных измерений: АД, электрокардиографии - ЭКГ и т. д.) и качественного (жалобы и анамнестические данные) характера в рамках непрерывной технологии от регистрации до постановки диагноза [1].

Объективным основанием проведения мероприятий первичной и вторичной профилактики (лечение, реабилитация и т.д) является точность оценки состояния кардиологического больного, в основе которой находятся установленные связи причин, вызывающих заболевания, и прогноз развития наблюдаемого процесса. Для этого в рассматриваемой системе используется обширный идентификационный базис.

Заполнение структуры фрейма производится в рамках созданного АРМа проектирования ПрЗ, который кроме системных функций включает регистр всех заболеваний, с которыми больные нуждаются в постоянном наблюдении врачей поликлинического уровня ДП, а также перечнем факторов риска внутренней и внешней природы и жалобы по 18 ПрО. Общее число заболеваний - 176, признаков жалоб - 600, факторов риска более 80 [11]. Жалобы и анамнестические данные заболеваний не кардиологического профиля рассматриваются в качестве факторов риска развития

кардиологической патологии. Количество возможных кардиологических диагнозов более 80, количество заболеваний проводимой дифференциальной диагностики - более 65.

В отличие от подобных систем кардиологической диагностики в системе ЭСКОРД используется аналог немонотонного вывода с этапами индукции и дедукции, основанный на рассуждениях. Используемые возможности интеллектуальных технологий позволили реализовать в ЭСКОРД единственно-правильный, достоверный вывод. В основе используемого вывода лежит метод генерации и дифференциации гипотез.

Совершенствование методов и средств представления ПрЗ позволяет унифицировать технологическую базу процесса формализации, сделав ее инвариантной к любой ПрО клинической медицины. Это позволит автоматизировать процесс КД не только в кардиологической практике, но и в других ПрО, а также улучшить качество проводимой диагностики и объективизировать контроль эффективности проводимых мероприятий.

1. Интеллектуальный интерфейс автоматизированных систем клинической диагностики /В.И. Гриценко, И.Н. Долгополов, И.С. Семчинский. - Киев, 1995. 40 с. (Препр./ НАН Украины; Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова, N 95\23).
1. Информационная технология клинической диагностики /В.И.Гриценко, И.Н. Долгополов. - Киев, 1992. -18 с. - (Препр./НАН Украины; Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова, N92\27).
2. Кокорева Л.В, Перевозчикова О.Л, Ющенко Е.Л. Диалоговые системы и представление знаний. - Киев: Наук. думка, 1993. - 453 с.
3. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект - основа новой информационной технологии.- М.:Наука, 1988. -279 с.
4. Долгополов И.Н. Информационная среда автоматизированных систем клинической диагностики / Информационные технологии в биологии и медицине, 1997. - 65 с.
5. Замулин А.В. Системы проектирования баз данных и знаний. - Новосибирск: Наука, 1990. - 350 с.
6. Шрейдер Ю.А, Шаров А.А. Системы и модели.- М.: Радио и связь, 1982. - 152 с.
7. Агафонов В.Н. Спецификация программ: понятийные средства и их организация.- Новосибирск: Наука, 1990. - 220 с.
8. ФорсайтР. Экспертные системы.Принципы работы и примеры.- М.:Радио и связь, 1987. - 226 с.
9. Логический подход к искусственному интеллекту. От классической логики к логическому программированию.- М.: Мир, 1990. - 425 с.
- 10.Будущее искусственного интеллекта. Под ред. Д.А.Поспелова - М.: Наука, 1991. - 302 с.
- 11.Новгородцев Г.А, Демченкова Г.З, Полонский М.П. Диспансеризация населения.- М.: Медицина, 1984. - 335 с.

International symposium on the contribution of Europeans to the evolution and the achievements of computer technology "Computers in Europe. Past, Present and Future", Kyiv, October 5-9, 1998

<http://www.icfcst.kiev.ua/Symposium/Proceedings2/Dolgopolov.pdf>