Гедике Александр Игоревич

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ЗНАНИЯХ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ЛОГИКО-КОМБИНАТОРНЫХ РАСПОЗНАЮЩИХ СИСТЕМАХ

05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов, систем и сетей»

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Томском государственном архитектурно-строительном
университете

Научный руководитель:	Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Янковская А.Е.
Официальные оппоненты:	Доктор технических наук, профессор, Матросова А.Ю. Кандидат технических наук, доцент, Тузовский А.Ф.
Ведущее предприятие:	Томский университет систем управления и радиоэлектроники

Защита состоится 10 июня 1998 г. в 15 часов на заседании
диссертационного совета Д063.80.03 при Томском политехническом
университете по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская, 84, ауд. 214.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Томского
политехнического университета.

Автореферат разослан _____ 1998 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

И.Л. Чудинов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

При создании интеллектуальных систем, бесспорно, актуальными являются проблемы, связанные с представлением знаний, выявлением закономерностей в знаниях, построением решающих правил и принятием решений.

Одним из перспективных направлений в указанной проблематике является применение методов распознавания образов. В рамках данного направления интенсивно развиваются логико-комбинаторные распознающие системы, целесообразность построения которых неоднократно подчеркивалась всемирно известными учеными по распознаванию образов и искусственному интеллекту Журавлевым Ю.И., Загоруйко Н.Г., Закревским А.Д., Поспеловым Д.А., Печерским Ю.Н. и др.

Анализ работ в данном направлении показывает, что разработанные распознающие системы ориентированы, как правило, на решение отдельных практических задач в конкретных областях приложения, а применяемые алгоритмы являются очень трудоемкими, что затрудняет использование этих систем для решения задач большой размерности.

Таким образом, остаются весьма актуальными как разработка менее трудоемких алгоритмов распознавания, так и создание на их базе интеллектуальных систем, инвариантных к областям приложения.

Один из подходов предложен Янковской А.Е. и основан на применении нетрадиционной матричной модели представления знаний (матрицы описания и различений), построении и анализе матрицы импликаций для выявления закономерностей в знаниях, а именно; подмножеств признаков с определенными свойствами, а также на использовании эквивалентных и оптимизирующих логико-комбинаторных преобразований в пространстве двоичных (троичных) признаков.

Эффективность данного подхода достигается: использованием не одно-

го, а произвольного количества классификационных признаков; выделением отрицательного образа (области запрета) для изучаемых объектов; выявлением различного рода закономерностей в знаниях; построением решающих правил, реализующих множество способов распознавания одного и того же объекта; организацией голосования на множестве этих способов с учетом задаваемой пользователем допустимой погрешности принятия решений.

Цель работы. Целью работы является: разработать в рамках указанного подхода алгоритмы, ускоряющие выявление закономерностей в знаниях; программно реализовать разработанные алгоритмы, а также интеллектуальный интерфейс и функции выявления закономерностей в знаниях и принятия решений в системах **АСТРА** и **ЭКСАПРАС**, ориентированных на комплексное решение задач распознавания большой размерности и инвариантных к ряду проблемных областей; адаптировать указанные системы к решению практических задач в геологии и проектировании РЭА (**АСТРА** и **ЭКСАПРАС**), а также в медицине чрезвычайных ситуаций, экологии, строительстве и генетике (**ЭКСАПРАС**).

Методы исследования. В теоретическом плане использовались методы искусственного интеллекта, распознавания образов и дискретной математики, в практической части - системного программирования.

Основные положения, выдвигаемые на защиту:

1. Разработка алгоритма ускоренного построения безызбыточной матрицы импликаций, основанного на предварительной сортировке обучающих объектов и сравнении их в определенном порядке, сокращающих без потери закономерностей размеры матрицы импликаций.

2. Разработка алгоритма ускоренного нахождения всех кратчайших столбцовых покрытий безызбыточной матрицы импликаций, основанного на специальной разметке столбцов, позволяющей сокращать число вершин при построении и анализе дерева поиска.

3. Программная реализация функций выявления закономерностей в знаниях, и принятия решений, а также интеллектуального интерфейса в распознающих системах **АСТРА** и **ЭКСАПРАС**.

4. Адаптация к решению задач в геологии и проектировании РЭА (системы **АСТРА** и **ЭКСАПРАС**), а также в медицине чрезвычайных ситуаций, экологии, строительстве и генетике (система **ЭКСАПРАС**).

Научная новизна. Научная новизна содержится в алгоритмах построения безызбыточной матрицы импликаций и нахождения всех ее кратчайших столбцовых покрытий. При решении практических задач полная матрица импликаций может быть чрезмерно велика. Разработанные автором диссертации алгоритмы позволяют сократить, с одной стороны, размер матрицы импликаций (без потери закономерностей), с другой стороны, - объем вычислений при поиске всех ее кратчайших столбцовых покрытий.

Практическая ценность. Разработанные автором диссертации программы, реализующие алгоритмы выявления закономерностей в знаниях и принятия решений, включены в интеллектуальные распознающие системы **АСТРА** и **ЭКСАПРАС**. Указанные системы служат удобным инструментом для оперативного принятия решений диагностического, классификационного, организационно-управленческого, прогностического характера (в зависимости от постановки задачи) относительно изучаемых объектов. Их применение позволяет получать качественно новые содержательные научные и практические выводы, ускоряет и облегчает принятие решений. Обе системы используются в научных и учебных целях, а также для построения прикладных интеллектуальных систем в различных предметных областях.

Связь работы научными программами, тем амин, грантами.

Работа выполнялась в рамках ГНТП ГКНТ РФ "Перспективные информационные технологии", региональной НТП "Оптимизация использования природных, производственных и интеллектуальных ресурсов Томской об-

ласти в интересах населения и народного хозяйства", гранта РФФИ № 95-01-00133 (1995-1997), а также ряда хоздоговорных тем с ВНИИ Океангеология (г. Ленинград, 1984-1985), НИИ АА (г. Москва, 1989), ГВМУ МО РФ (г. Москва, 1989-1990), Комитетом по экологии Томской области (1992-1993).

Апробация работы. Результаты работы представлялись на: республиканской школе-семинаре "Логико-комбинаторные методы в искусственном интеллекте и распознавании образов" (Кишинев, 1985); научно-технической школе "Новая информационная технология в системотехнике" (Одесса, 1988); научных конференциях по искусственному интеллекту (Переславль-Залесский, 1988; Тверь, 1992; Казань, 1996); IV Всесоюзной конференции "Математические методы распознавания образов" (Рига, 1989); IX Всесоюзной конференции "Планирование и автоматизация эксперимента в научных исследованиях" (Москва, 1989); научной конференции "Экспертные системы в решении задач комплексной автоматизации проектирования и производства РЭА" (Ленинград, 1989); I Всесоюзной конференции "Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии" (Минск, 1991); международных конференциях "Новые информационные технологии в науке, образовании, медицине и бизнесе" (Гурзуф, 1992, 1994, 1995, 1996); международной конференции "Восток-Запад. Искусственный интеллект: от теории к практике" (Москва, 1993); IV международной конференции "Компьютерное конструирование перспективных материалов и технологий" (Томск, 1995); Всероссийской конференции "Новые информационные технологии в исследовании дискретных структур" (Екатеринбург, 1996); международной конференции "Всесибирские чтения по математике и механике" (Томск, 1997); Всероссийской конференции "Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций" (Красноярск, 1997).

Публикации. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 18 печатных работах.

Внедрение результатов. Результаты работы внедрены во ВНИИ Океан-геология (г. Ленинград), НИИ Автоматической аппаратуры (г. Москва), ГВМУ МО РФ (г. Москва), Сибирском государственном медицинском институте (г. Томск), Комитете по экологии и природопользованию Томской области, НИИ Строительных материалов (г. Томск).

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и трех приложений. Объем работы составляет 228 стр., из которых 73 стр. - приложения. Список литературы включает 152 наименования.

Краткое содержание работы.

Во введении излагаются актуальность, цель и общая характеристика исследований по теме диссертации.

В главе 1 представлен краткий обзор литературы по методам распознавания образов, включая логико-комбинаторные, а также по разработке интеллектуальных распознающих систем.

В главе 2 излагаются основные положения применяемого подхода. Для представления обучающих объектов в данном подходе используется *матрица описании Q*, строкам которой сопоставляются описания объектов, а столбцам - троичные признаки, называемые *характеристическими*. При этом значение *единица* означает, что данный признак присущ соответствующему объекту, *ноль* — не присущ, а *прочерк* - что значением признака может быть как 0, так и 1.

Предполагается, что существует *несколько механизмов классификации*, разбивающих изучаемые объекты на классы эквивалентности. Каждому механизму классификации сопоставляется целочисленный признак, называемый *классификационным*. Считается, что объекты, которым соответствует одинаковая комбинация значений классификационных признаков, принадлежат одному и тому же образу, а множество описаний этих объектов задает *описание* данного образа.

Для **указания** принадлежности обучающих объектов образам используется **матрица различений R** , строкам которой сопоставляются строки матрицы Q , а столбцам - классификационные признаки. Каждый столбец матрицы R задает номера классов, которым принадлежат объекты при соответствующем механизме классификации.

Данная модель позволяет представлять не только данные, но и знания экспертов, поскольку одной строкой матрицы Q можно задавать в интервальной форме некоторое подмножество объектов, для которых характерны одни и те же решения, задаваемые строкой матрицы R .

Под выявлением закономерностей в знаниях понимается поиск подмножеств характеристических признаков с определенными свойствами, влияющими на различимость объектов из разных образов.

Значения признаков, являющихся константными для всех строк матрицы Q , принадлежащих одному образу, задают **область схождения**, а инверсные им значения - **область запрета** для данного образа. Совокупность инверсных значений признаков, являющихся константными для всех строк матрицы Q , принимается за **отрицательный образ**.

Два объекта различимы, если хотя бы один признак в их описаниях принимает инверсные значения. Объект и образ различимы, если хотя бы один константный признак для данного образа и соответствующий ему признак в описании объекта принимают инверсные значения. Два образа различимы, если хотя бы один признак, являющийся константным для обоих образов, принимает в описаниях этих образов инверсные значения.

Для оценки индивидуального вклада в различимость объектов каждому *характеристическому признаку* ставится в соответствие его **весовой коэффициент**, вычисляемый как отношение числа пар объектов, различающихся по значениям этого признака, к общему числу пар объектов, принадлежащих разным образам.

Наименьшее по мощности подмножество признаков, обеспечивающее

различимость любой пары объектов из разных образов, называется **минимальным различающим подмножеством**.

Для представления условий различимости обучающих объектов используется двоичная **матрица импликаций** (U), столбцам которой сопоставляются характеристические признаки, а строкам - результаты сравнения всевозможных пар объектов, принадлежащих разным образам. Элемент строки принимает *единичное* значение, если соответствующий признак является различающим, и *нулевое* - в противном случае.

Если в матрице U есть строка с *одним единичным значением*, то соответствующий ему признак является **обязательным**. Признаки, которым соответствуют *нулевые* столбцы матрицы U , не различают ни одной пары объектов и являются **неинформативными**. Признаки, которым соответствуют *равные* столбцы матрицы U , различают одни и те же пары объектов и считаются **альтернативными**. Если i -ый (не нулевой) столбец матрицы U *поглощается* j -ым (не равным i -му) столбцом, то признак, соответствующий i -му столбцу, различает лишь некоторые пары объектов из множества пар, различаемых j -ым признаком, и считается **зависимым**. Строка матрицы U считается **избыточной**, если она поглощает некоторую другую строку.

Матрица U называется **безызыточной** и обозначается U' , если в ней нет поглощающих строк и нулевых, равных и поглощаемых столбцов.

Закономерностями в знаниях считаются: константные, неинформативные, обязательные, альтернативные и зависимые признаки, а также каждое минимальное различающее подмножество признаков.

Применяемый подход включает решение следующих задач: выявление закономерностей в знаниях, построение решающих правил, распознавание объектов, принятие решений по результатам распознавания.

Выявление закономерностей сводится к построению матрицы U' (с одновременным вычислением весовых коэффициентов признаков и выделени-

ем константных, неинформативных, обязательных, альтернативных и зависимых признаков) и нахождению всех ее кратчайших столбцовых покрытий, каждому из которых соответствует минимальное различающее подмножество признаков.

Построение решающих правил, реализующих множество способов распознавания одного и того же предъявляемого объекта, включает формирование *сжатых описаний образов* (каждое из которых строится по матрице Q с использованием столбцов, образующих одно кратчайшее покрытие) *и обобщенного сжатого описания образов* (с использованием столбцов, входящих в объединение кратчайших покрытий).

Распознавание предъявляемого объекта сводится к вычислению (по каждому сжатому описанию образов) значений *условной степени близости* объекта к каждому i -му образу (как отношение коэффициента сходства предъявляемого объекта с объектами i -го образа к коэффициенту сходства объектов внутри i -го образа) и сравнению их с пороговым значением, вычисляемым с учетом допустимой погрешности принятия решений, задаваемой пользователем. Считается, что объект можно отнести к некоторому образу (положительное решение), если соответствующее значение условной степени близости не меньше порогового значения.

Принятие решений осуществляется с использованием процедуры *голосования* на множестве решающих правил. Объект относится к образу, для которого количество положительных решений было наибольшим, и не относится ни к одному образу в противном случае.

Задачи построения матрицы U' и поиска всех ее кратчайших столбцовых покрытий являются наиболее трудоемкими (из-за переборных процессов) при решении их в рамках используемого подхода.

В главе 3 изложены разработанные автором диссертации алгоритмы *ускоренного* построения матрицы U' (без потери закономерностей) и поиска

всех ее кратчайших столбцовых покрытий. Кроме того, приводится описание программно реализованных им алгоритмов построения решающих правил, распознавания предъявляемых объектов и принятия решений.

Построение матрицы U' по алгоритму, предложенному Янковской Л.Е., основано на:

- выделении областей сходства (запрета) для каждого образа;
- определении попарной различимости образов;
- определении для каждой пары *неразличимых* образов попарной различимости каждого объекта одного образа с другим образом (все *различимые* с образами объекты отмечаются);
- определении попарной различимости *неотмеченных* объектов;
- удалении из матрицы U' избыточных строк и столбцов, соответствующих неинформативным, альтернативным и зависимым признакам.

В указанном алгоритме сокращение числа переборov достигается путем учета различимости образов и различимости объектов с образами, что приводит к уменьшению размеров матрицы U' . Но при этом некоторые закономерности могут быть утеряны, так как сравниваются не все пары объектов из разных образов. Для данного алгоритма автором диссертации получена оценка количества (S') анализируемых пар строк матрицы Q :

$$S' = S - \sum_{i=1}^I (S_i - 1) - \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^{R_j} (N'_{jt} - 1),$$

где: S - число всех пар строк, принадлежащих разным образам; I - число пар различимых образов; S_i ($i=1, \dots, I$) - число пар строк в i -ой паре различимых образов; J - число объектов, каждый из которых различим с R_j ($j=1, \dots, J$) образами; N_{jt} ($t=1, \dots, R_j$) - число строк в описаниях образов, с которыми различим j -ый объект.

С целью достижения дополнительного сокращения числа переборov и

размеров матрицы U' , не приводящего к потере закономерностей, автором диссертации предложены:

- группировка обучающих объектов по принадлежности образам;
- упорядочение (внутри образов) объектов по *неубыванию* числа единичных значений в их описаниях;
- специальный порядок выбора сравниваемых пар объектов,

Порядок состоит в том, что сначала с *первым* неотмеченным объектом одного образа последовательно сравниваются и отмечаются *первые и последние* неотмеченные объекты остальных образов, затем объект отмечается и процедура повторяется с *последним* неотмеченным объектом этого же образа, потом с объектом, ставшим *первым* неотмеченным, и т.д., с последовательным переходом от образа к образу. Это уменьшает (без потери закономерностей) число включаемых в матрицу U' строк, которые становятся избыточными на более поздних этапах ее построения, что сокращает число переборov при сравнении новых строк с уже построенной частью матрицы U' .

Поиск всех кратчайших столбцовых покрытий матрицы U' основан на построении по матрице U' иерархической системы миноров, являющейся деревом поиска, и сводится к выделению всех *неповторяющихся* кратчайших путей в дереве поиска.

При изложении алгоритма приводятся его отличия от представленного в¹⁾ алгоритма Уткина А.А., находящего одно кратчайшее столбцовое покрытие и основанного на построении аналогичного дерева поиска, но использующего другие критерии для отсекаания неоптимальных путей.

Выделение минора по некоторому столбцу состоит в вычеркивании данного столбца и всех строк, содержащих единицы в этом столбце.

Корню дерева сопоставляется матрица U' . *Вершинам* 1-го уровня - миноры, выделенные из матрицы U' . *Вершинам* 2-го уровня - миноры, выделен-

¹⁾ Закревский А.Д. Алгоритмы синтеза дискретных устройств. - М.: Наука, 1971.

ные из миноров 1-го уровня, и т.д. *Листьям* сопоставляются миноры, состоящие из одного столбца. Каждой вершине приписывается *значение*, равное номеру столбца, по которому был выделен минор.

Пути, ведущие от корня к листьям и состоящие из одинаковых, но расположенных в различном порядке вершин, соответствуют одному и тому же столбцовому покрытию и являются *повторяющимися*.

Для сокращения числа переборов предлагается специальная разметка, заключающаяся в том, что на каждом уровне дерева поиска отмечаются вершины, соответствующие столбцам, по которым *уже выделялись* миноры, *нулевым* и *равным* столбцам. Учет столбцов, по которым уже выделялись миноры, позволяет исключить построение повторяющихся путей, учет нулевых столбцов - отсекает ветви, не являющиеся покрытиями, а учет равных столбцов - находить покрытия без выделения миноров.

Кроме того, на каждом уровне для выделения минора выбирается еще неотмеченный столбец с наибольшим числом единичных значений, что ускоряет нахождение первого кратчайшего (либо близкого к нему) покрытия и позволяет отсекать ветви с большей длиной.

Сначала строим одну ветвь дерева поиска. После этого возвращаемся к вершине, непосредственно предшествующей конечной, формируем покрытия с учетом равных столбцов и последовательно, по неотмеченным еще столбцам строим все возможные ветви из данной вершины.

Затем возвращаемся к вершине, предшествующей только что обработанной, из нее также строим все возможные ветви, и т. д.

Автором диссертации получена верхняя оценка числа (N^*) выделяемых миноров (вершин в дереве поиска):

$$N^* = N'_{\max} - \sum_{i=1}^{m-1} (N_i^1 + N_i^2 + \sum_{k=1}^{L_i} (I_k^i - 1)),$$

где m - число столбцов в матрице U' ; $N'_{\max}$ - максимальное число вершин в

неповторяющихся путях; N^1_i , - число вершин на i -ом уровне ($i=1, \dots, m-1$), входящих в отсекаемые (по мощности покрытия) ветви; N^2_i - число нулевых столбцов на i -ом уровне; L_i - число групп на i -ом уровне, каждая из которых состоит из I^i_k ($k=1, \dots, L_i$) равных между собой столбцов.

Глава 4 содержит описание программной реализации, структуры и функциональных возможностей разработанных при значительном вкладе автора диссертации интеллектуальных систем **АСТРА** и **ЭКСАПРАС**, в которых реализованы представленные в главе 3 алгоритмы выявления закономерностей в знаниях, построения решающих правил, распознавания предъявляемых объектов и принятия решений, а также (в целях сравнения) алгоритм нахождения одного кратчайшего покрытия, адаптированный для поиска почти всех кратчайших столбцовых покрытий матрицы U' .

Комплексность решаемых задач распознавания образов обусловила организацию программных компонент обеих систем в виде иерархической модульной структуры, допускающей наращивание возможностей и изменение (при необходимости) архитектуры каждой системы путем добавления, замены или удаления отдельных программных модулей, т.е. открытость систем в функциональном плане.

Использование матричной модели для представления и обработки как исходной, так и промежуточной информации при решении задач распознавания образов предопределило целесообразность создания базы знаний табличного (реляционного) типа. При этом для обеспечения целостности предусмотрена парольная защита от несанкционированного доступа и от случайной порчи при вызове функций, изменяющих состояние базы знаний.

Общение пользователя с системами, реализовано в виде многооконного интеллектуального интерфейса с развитой системой экранной помощи и защитой от ошибочных действий пользователя, позволяющего вести диалог на ограниченном профессиональном языке.

Для повышения быстродействия выполнения функций используются (там, где это возможно) прямые методы доступа к файлам.

Экономия ресурса оперативной памяти достигается путем динамического выделения и освобождения оперативной памяти под рабочие массивы, использования одних и тех же программ при реализации однотипных действий в разных функциях и подсистемах, а также размещения в оперативной памяти только головного модуля, из которого вызываются, динамически загружаются и выгружаются другие программные модули.

Обе системы являются по сути оболочками и используются для создания прикладных систем в различных проблемных областях.

Система **АСТРА** реализована для ЕС ЭВМ в языках АССЕМБЛЕР и PL/1, функционирует в операционной среде **ОС ЕС** версии 6.1 или **БОС СВМ ЕС**, состоит из четырех подсистем (управление базой данных, информационный поиск в базе данных, распознавание образов, статистический анализ данных) и занимает порядка 3 Мб внешней памяти. Минимальный объем требуемой оперативной памяти составляет порядка 500 Кб.

Управление базой данных включает: создание и удаление наборов данных на устройстве прямого доступа; добавление и удаление наблюдений (записей, из которых состоит набор данных); корректировку значений признаков (отдельных полей в записях); просмотр каталога базы данных.

Информационный поиск в базе данных включает: формирование ключей поиска; выбор наблюдений из базы данных по заданным ключам поиска; выбор формы документа для печати; печать документа.

Распознавание образов включает: формирование обучающей выборки (матриц описаний и различений); минимизацию признакового пространства (построение матрицы импликаций и нахождение ее кратчайших столбцовых покрытий); построение сжатых описаний образов (решающих правил); распознавание предъявляемых объектов.

Статистический анализ данных включает: формирование задания на

статистическую обработку на входном языке системы SAS; запись задания в библиотеку системы **АСТРА**; считывание задания из библиотеки; корректировку задания; запуск задания на выполнение.

Автором диссертации осуществлены программная реализация интеллектуального интерфейса и подсистемы распознавания образов, а также окончательная отладка и стыковка всех программных модулей системы **АСТРА**.

Система **ЭКСАПРАС** реализована для IBM PC в языке Си, функционирует в операционной среде **MS DOS**, состоит из четырех подсистем (управление базой знаний, оптимизация базы знаний, принятие решений, настройка параметров системы) и занимает порядка 1,5 Мб внешней памяти. Минимальный объем требуемой оперативной памяти составляет порядка 300 Кб.

Управление базой знаний включает: создание и удаление модулей базы знаний; отображение и редактирование структуры модуля; добавление, отображение, корректировку и удаление знаний (описаний объектов). Реализованы также функции добавления знаний из текстового файла и создания модуля знаний путем конвертирования **dbf**-файла.

Оптимизация модуля базы знаний включает: выбор модуля базы знаний; формирование обучающей выборки (матриц описаний и различений); вычисление весовых коэффициентов признаков; выявление константных, неинформативных, обязательных, альтернативных и зависимых признаков; построение безызбыточной матрицы импликаций; минимизацию признакового пространства (нахождение всех кратчайших столбцовых покрытий безызбыточной матрицы импликаций).

Принятие решений включает: выбор модуля базы знаний; построение решающих правил; ввод описания предъявляемого объекта; указание допустимой погрешности принятия решения; принятие решения.

Автором диссертации осуществлены программная реализация подсистем оптимизации базы знаний и принятия решений (за исключением средств когнитивной графики), интеллектуального интерфейса, а также окончательная

отладка и стыковка всех программных модулей системы **ЭКСАПРАС**.

В главе 5 отражен опыт применения системы **ЭКСАПРАС** для решения следующих задач: 1) прогнозирование залежей железо-марганцевых конкреций (ЖМК) в Тихом океане; 2) оценка сложности узлов при проектировании радиоэлектронной аппаратуры (РЭА); 3) принятие диагностических, лечебно-тактических, эвакуационно-транспортных и организационно-управленческих решений в условиях чрезвычайных ситуаций; 4) анализ и оценка эколого-медицинской обстановки на территории Северного промузла г.Томска; 5) прогнозирование свойств тяжелых и поризованных бетонов при применении различных технологий их изготовления; 6) оценка здоровья населения по комплексу генетических и функциональных показателей в ряде населенных пунктов Томской области. Экспертами по знаниям являлись квалифицированные специалисты в соответствующих проблемных областях.

При решении данных задач было проведено сравнение с изложенным в главе 3 алгоритмом нахождения одного кратчайшего покрытия, адаптированным для поиска почти всех кратчайших столбцовых покрытий. Например, время обработки на **IBM PC 486-SX** построенной по результатам микро-ядерного и гематологического обследования детей матрицы импликаций (298 строк и 41 столбец) указанным алгоритмом составило около 2 суток, а алгоритмом, разработанным автором диссертации - 8,5 минут, что указывает на преимущество последнего в плане сокращения числа переборов.

В целом применение системы **ЭКСАПРАС** для решения вышеперечисленных задач получило высокую оценку специалистов в каждой области приложения. Например, прогнозная оценка свойств поризованных бетонов, полученная с помощью системы, совпала с результатами проведенных натурных экспериментов.

В заключении приводятся основные полученные результаты.

Приложения 1 и 2 содержат инструкции пользователю системами **АСТРА** и **ЭКСАПРДС** с описанием интеллектуального интерфейса (сцена-

рия диалога), а **приложение 3** - акты и справки о внедрении.

Основные полученные результаты.

1. Разработан алгоритм ускоренного построения безызбыточной матрицы импликаций, основанный на оригинальном способе сокращения ее размеров, не приводящем к потере закономерностей.

2. Разработан алгоритм ускоренного нахождения всех кратчайших столбцовых покрытий безызбыточной матрицы импликаций, основанный на оригинальном способе сокращения числа вершин при построении дерева поиска путем специальной разметки столбцов, позволяющей отсекалть неоптимальные пути.

3. Получены оценка числа анализируемых пар объектов при построении безызбыточной матрицы импликаций и верхняя оценка числа вершин в дереве поиска при нахождения всех ее кратчайших столбцовых покрытий.

4. Осуществлена программная реализация функций выявления закономерностей в знаниях и принятия решений, а также интеллектуального интерфейса в системах АСТРА и ЭКСАПРАС, разработанных при значительном вкладе автора диссертации.

5. Осуществлены адаптация и апробация системы АСТРА при решении следующих реальных задач: прогнозирование залежей ЖМК в Тихом океане; оценка сложности узлов при проектировании РЭА.

6. Осуществлены адаптация и апробация системы ЭКСАПРАС при решении следующих реальных задач: прогнозирование залежей ЖМК в Тихом океане; оценка сложности узлов при проектировании РЭА; принятие диагностических, лечебно-тактических, эвакуационно-транспортных и организационно-управленческих решений в условиях чрезвычайных ситуаций; анализ и оценка :)колото-медицинской обстановки на территории Северного промузла г.Томска; прогнозирование свойств строительных материалов при использовании различных технологий производства тяжелых и поризованных бетонов; оценка здоровья населения по комплексу генетических и функциональ-

ных показателей в ряде населенных пунктов Томской области.

Список основных публикаций по теме диссертации.

1. Янковская А.Е., Гедике А.И. Конструирование интеллектуальных САПР и АСНИ на базе диалоговой системы распознавания образов// Тез. докл. Всесоюзн. конф. по ИИ. Т.2. - Переславль-Залесский, 1988. - С.603-608.
2. Янковская А.Е., Гедике А.И. Матричное представление информации при логико-комбинаторном подходе к решению задач распознавания и методы приведения данных к матричному виду// Математические методы распознавания образов. Тез. докл. IV Всесоюзн. конф. Ч.IV.- Рига,1989.- С.178-180.
3. Янковская А.Е., Гедике А.И., Новиков А.Б. Автоматизированная система распознавания металлогенических объектов// В сб.: Прогнозирование твердых полезных ископаемых в Мировом океане. - Л.: изд-во НПО Севморгеология, 1990. - С. 17-35.
4. Янковская А.Е., Гедике А.И., Ковалев Г.Г. и др. Опыт создания интерактивной системы распознавания образов и ее применение в научных исследованиях, управлении, обучении/ / В сб.: Новая информационная технология в системотехнике. - М.: Радио и связь, 1990. - С. 126-131.
5. Янковская А.Е., Гедике А.И. Эффективные алгоритмы минимизации признакового пространства и принятия решений в логико-комбинаторном распознавании образов с обучением// Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии. Тез. докл. I Всесоюзн. конф. Ч. III. - Минск, 1991.-С. 169-173.
6. Янковская А.Е., Гедике А.И., Кондратенко С.В. Экспертная система ЭКСАПРАС// САПР-92. Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе. Тез. докл. Международн. конф.- Гурзуф, 1992.- С.198-199.
7. Янковская А.Е., Гедике А.И. Построение прикладных интеллектуальных систем на базе системы ЭКСАПРАС// Тез. докл. III конф. по ИИ. Т. 2. -

Тверь, 1992.-С. 82-85.

8. Yankovskaya A.Ye., Gedike A.I. Theoretical Base, Realization and Application of the Intelligent System EXAPRAS// Proc. East-West Conf. on Artificial Intelligence "EWAIC'93 ". - Moscow, 1993. - pp. 248-252.
9. Янковская А.Е., Гедике А.И. Информационная технология комплексного решения задач медицины чрезвычайных ситуаций на базе системы ЭСМЕДИЧ// САПР-94. Новые информационные технологии в науке, образовании, медицине и бизнесе. Тез. докл. XXI Международн. конф. - Гурзуф, 1994. - С. 37-42.
10. Янковская А.Е., Гедике А.И., Прегер А.Л. Оценка и прогнозирование экологической ситуации СПУ на базе экспертной системы// В сб.; Экология Северного промышленного узла г.Томска: проблемы и решения/ Под ред. А.М.Адама. - Томск: изд-во ТГУ, 1994. - С. 223-234.
11. Yankovskaya A.Ye., Gedike A.L. Integrated Intelligent System EXAPRAS and its Application// Journal of Intelligent Control, Neurocomputing and Fuzzy Logic. - USA, Nova Science Publishers, Inc., 1995. - V. 1. - pp. 243-269.
12. Гедике А.М., Янковская А.Е. Интеллектуальная эколого-медицинская система//Изв. РАН. Теория и системы управления.- 1995.-N5.-С.224-228.
13. Янковская А.Е., Гедике А.И. Прикладная интеллектуальная система ЭСОП// Новые информационные технологии в исследовании дискретных структур. Сб. докл. Всерос. конф.- Екатеринбург, 1996.- С.222-226.
14. Гедике А.И., Журкина О.В., Ильинских Н.Н., Янковская А.Е. Интеллектуальная система ГЕНЕТОН// Искусственный интеллект - 96. Сб. научн. тр. V Национ. конф. с междунар. участием. Т.Ш.-Казань,1996.-С.508-512.
15. Гедике А.И., Янковская А.Е, Интеллектуальная система ПРИАР// Искусственный интеллект - 96. Сб. научн. тр. V Национ. конф. с междунар. участием. Т. III. -Казань, 1996.-С. 513-517.
16. Гедике А.И., Янковская А.Е. Интеллектуальная система СТРОЙКОМПОЗИТ// Искусственный интеллект - 96. Сб. научн. тр. V

Национ. конф. с междунар. участием. Т. III. - Казань, 1996. - С. 517-522.

17. Ольховатенко В.Е., Щербак Г.Г., Янковская А.Е., Гедике А.И. Идентификация оползнеопасных участков и оценка уровня геоэкологического риска городских территорий// Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Тр. Всерос. Конф. - Красноярск, 1997.- С.94-100.
18. Янковская А.Е., Ильинских Н.Н., Гедике А.И. Опыт построения и использования интеллектуальной системы ГЕНЕТОН в учебных и практических целях// Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Тр. Всерос. Конф. - Красноярск, 1997. - С. 265-268.