

На правах рукописи

Гергет Ольга Михайловна

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ
АДАПТАЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
ДИАГНОСТИКИ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ.
(НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЗДОРОВЬЯ В РАННЕМ
НЕОНАТАЛЬНОМ ПЕРИОДЕ)**

Специальность: 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск, 2002

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
В.А.Кочегуров

Научный консультант: доктор технических наук,
А.Е.Янковская

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
В.А.Силич

кандидат технических наук, доцент
Я.С.Пеккер

Ведущая организация: Новосибирский государственный
технический университет

Защита состоится «18» сентября 2002 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.06 при Томском политехническом университете по адресу: 634034, г.Томск, ул. Советская, 84, институт «Кибернетический центр» ТПУ.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета по адресу: 634034, г.Томск, ул.Белинского, 53.

Автореферат разослан «____» _____ 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент

_____ Сонькин М.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Актуальность задачи создания компьютерных систем для оценки уровня здоровья детей раннего неонатального периода обусловлена тем, что за последние 15 лет в 4-5 раз возросла общая заболеваемость новорожденных. Установлено, что предрасположенность человека к заболеваниям, формирование патологий закладываются, в основном, в первые дни и годы жизни, поэтому, бесспорно, актуальными являются проблемы, связанные с разработкой математических методов и алгоритмов, построением математических моделей для решения задачи более раннего выявления и профилактики функциональных отклонений у детей.

Наиболее перспективными направлениями в указанной проблематике являются подходы, основанные на применении методов теории информации, методов мягких вычислений и методов распознавания образов. Большой вклад в этом направлении сделан как зарубежными, так и отечественными учеными.

Особый интерес представляет создание многофункциональных математических моделей, ориентированных на исследование особенностей организма человека: начиная с поиска закономерностей в сложных процессах, обусловленных влиянием внешних факторов на функциональное состояние организма с учетом его индивидуальных особенностей, и заканчивая представлением о свойствах организма в целом и решением задач дифференциальной диагностики.

В большинстве известных из литературы системах оценка состояния здоровья ребенка основана на усредненных характеристиках (норма, патология, степень развития). Однако при этом, оказываются скрытыми индивидуальные особенности детей, выявление которых особенно важно в первые дни жизни (ранний неонатальный период), когда сама жизнь представляет собой адаптационный процесс, заключающийся в тенденции к динамическому равновесию с условиями существования. В этот момент необходимо отследить динамику адаптационных процессов ребенка (с учетом индивидуальных особенностей), что позволит осуществить при необходимости коррекцию программы лечения в реальном

масштабе времени. Таким образом, несмотря на достигнутые результаты, остается потребность в создании математических методов и компьютерных систем для оценки и прогнозирования состояния здоровья, в частности, на основе оценки адаптационных возможностей организма ребенка в первые дни жизни.

Целью работы является разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения для оценки адаптационных стратегий и дифференциальной диагностики развивающихся систем на примере оценки и прогнозирования здоровья детей в раннем неонатальном периоде с учетом их индивидуальных особенностей.

В связи с этим в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Разработать интегральные критерии оценки состояния организма ребенка и алгоритмы получения адаптационных характеристик на основе анализа динамики введенных интегральных показателей.
2. Исследовать взаимосвязи различных стратегий адаптации детей в раннем неонатальном периоде с возникновением функциональных отклонений.
3. Разработать алгоритмы дифференциальной диагностики детей в раннем неонатальном периоде с учетом адаптационных стратегий и дополнительной количественной и качественной информации для случаев неблагоприятного протекания адаптационного процесса.
4. Разработать алгоритмическое и программное обеспечение, позволяющее оперативно и с необходимой надежностью оценивать состояние здоровья детей, принимать решения по его коррекции, а также производить оценивание качества лечения.

Научная новизна

- Разработаны информационные критерии для оценки динамики состояния развивающихся систем с учетом их индивидуальных особенностей.
- Выявлены закономерности реакции развивающихся систем на условия жизнедеятельности, которые могут быть использованы в качестве адаптационных характеристик. На примере развития детей показано

существование пяти типов адаптационных стратегий. Определены стратегии адаптации детей в раннем неонатальном периоде.

- Разработана схема дифференциальной диагностики состояния здоровья детей в раннем неонатальном периоде.
- Разработан алгоритм дифференциальной диагностики для детей в раннем неонатальном периоде в условиях нечеткого задания диагностической информации.
- Получены решающие правила для диагностики наиболее распространенных заболеваний в условиях полного задания информации
- Разработан алгоритм дифференциальной диагностики состояния ребенка, позволяющий принимать решения в условиях пропусков во входной информации.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- Разработанные интегральные критерии использованы для оценки динамики адаптационных характеристик ребенка в практической медицине, научных исследованиях и учебном процессе.
- Решающие правила в виде дискриминантных функций и в виде диагностических таблиц используются для диагностики уровня здоровья детей раннего неонатального периода.
- Разработанные алгоритмы логико-вероятностного принятия решения используются для оперативного решения диагностического и классификационного характера в случае неполного и нечеткого задания исходной диагностической информации.
- Созданное программное обеспечение позволило получить качественно новые научные и практические выводы, существенно ускоряющие и облегчающие работу медицинского персонала.

Основные положения, выносимые на защиту

- Алгоритмы получения адаптационных характеристик на основе интегрально-информационных критериев.

- Методы выявления скрытых закономерностей реакции ребенка на условия жизнедеятельности.
- Алгоритмы дифференциальной диагностики для случая полного, неполного, а также нечеткого задания исходной информации, обеспечивающие высокое качество распознавания.
- Программный комплекс, представляющий собой интеллектуальную советующую систему для оперативной оценки состояния детей и принятия решения по проведению дополнительного обследования и коррекции состояния ребенка.

Апробация работ

Результаты работы докладывались на: V-ой областной научно-практической конференции «Современные техника и технологии» (Томск, 1999г.); научной конференции с международным участием по искусственному интеллекту «КИИ-2000» (Перславль-Залесский, 2000г.); международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» (Новосибирск, 2000г.); всероссийской конференции с международным участием «Новые информационные технологии в исследовании дискретных структур» (Томск, 2000г.), VI всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология надежность безопасность» (Томск, 2000г.).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 17 печатных работ.

Внедрение результатов

Результаты работы используются в учебном процессе и внедрены в отделении патологии новорожденных детской больницы №1 и роддоме №1 г. Томска.

Грант

Индивидуальный грант молодых ученых Томского политехнического университета, 2002.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы из 98 наименований и приложений. Объем работы составляет 145 страниц машинописного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, приводятся цели и задачи работы, определяются научная новизна и практическая ценность работы.

Первая глава диссертационной работы посвящена вопросам анализа объекта исследования и выбора информативных показателей для решения поставленных задач. Рассмотрены 7 основных периодов развития ребенка: внутриутробный, новорожденности, грудной: ранний и поздний неонатальный периоды, ранний возраст, дошкольный возраст, отрочество и пубертатный период. Показано, что одним из важных периодов развития является ранний неонатальный период (от 0 до 7 дней), когда сама жизнь ребенка вне организма матери представляет собой адаптационный процесс. В связи с этим актуальной является задача оперативной оценки адаптационных характеристик организма ребенка. Наиболее известными работами в области адаптации являются работы В.П.Казначеева, Р.М.Баевского, Б.А.Кобринского, Н.А.Агаджаняна. В диссертации приведены и проанализированы результаты, полученные в области моделирования адаптационных возможностей организма человека. Однако, несмотря на достигнутые результаты, проблема оценки адаптационных возможностей детей остается слабо изученной.

Обоснована необходимость построения некоторой интегральной характеристики, определяющей динамику адаптационных процессов организма ребенка в раннем неонатальном периоде.

Показано, что при выборе значимых измеряемых показателей при построении интегральных характеристик, многие часто используемые для оценки состояния организма взрослого человека показатели оказываются неприемлемыми для детей в раннем неонатальном периоде.

В настоящей работе интегральная характеристика строится по показателям сердечно-сосудистой системы, поскольку она является индикатором изменения функционального состояния организма, причем наиболее перспективным направлением является метод кардиоинтервалометрии, т.к. применение этого метода обеспечивает высокую информативность и надежность результатов исследования.

В диссертации осуществлен выбор информативных показателей кардиоинтервалометрии для решения задачи исследования различных стратегий адаптации. Проведен статистический и кластерный анализ информативных показателей

сердечного ритма для различных групп детей в раннем неонатальном периоде. В результате получены значения таких числовых характеристик случайной величины, как математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение, характеризующие состояние однородной группы детей в каждый день жизни. Выделены 5 однородных групп детей, соответствующих разной степени тяжести состояния здоровья ребенка.

Разработана схема комплексной оценки состояния организма ребенка, приведенная на рис.1 и включающая в себя как определение адаптационных стратегий, с целью оперативной оценки и формирования корректирующей программы лечения, так и проведение дифференциальной диагностики с целью уточнения клинического диагноза.

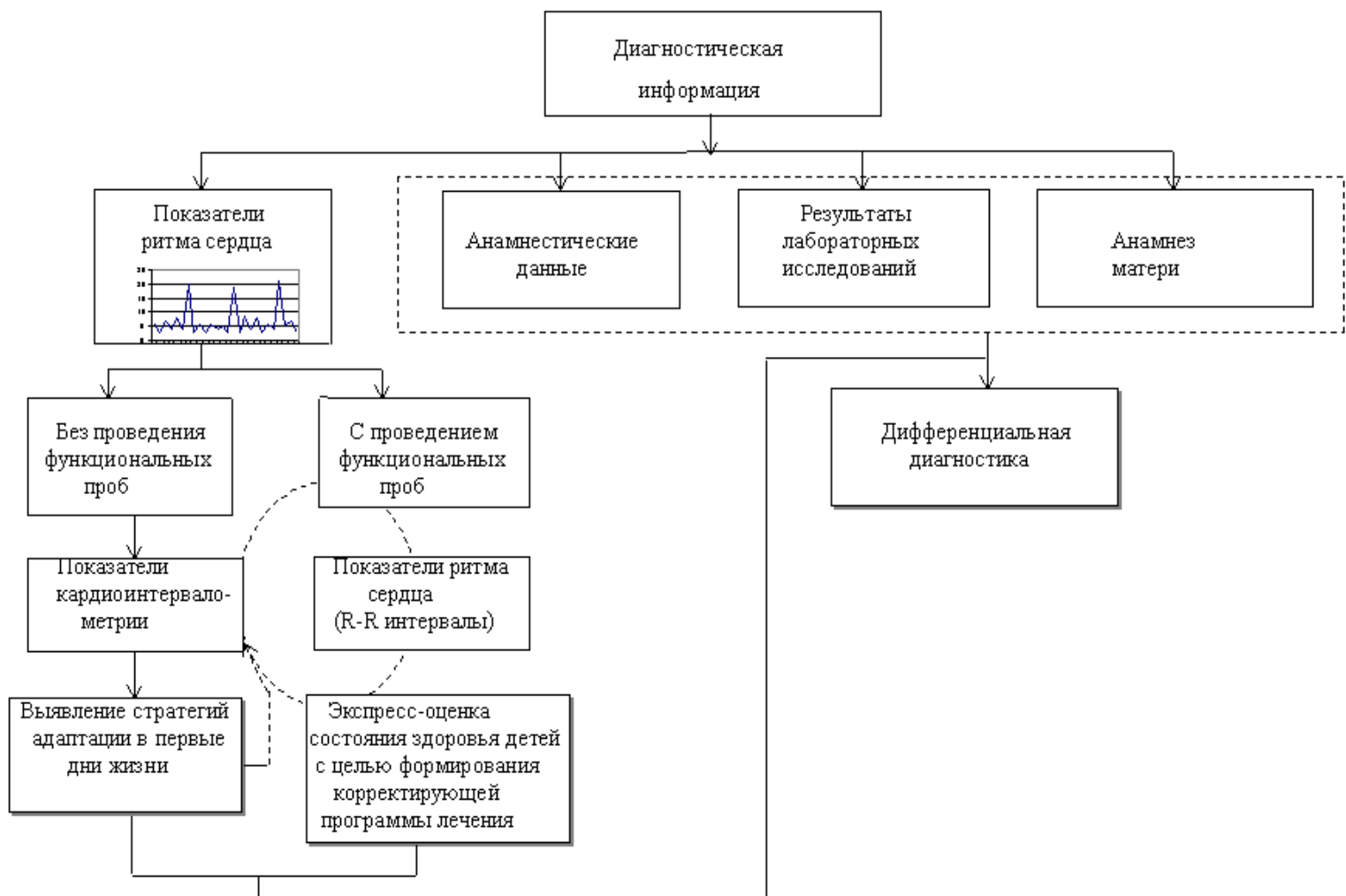


Рис.1. Схема комплексной оценки состояния ребенка

Вторая глава посвящена вопросам анализа и развития информационных интегральных подходов. Рассматриваются модели и алгоритмы, построенные на основе методов теории информации, предназначенные для оперативной оценки состояния здоровья детей раннего неонатального периода.

В работе введено 2 вида интегральных оценок: 1) для оценки индивидуального «исходного» уровня ребенка (выявление стратегии адаптации); 2) для оценки типа

реакции на функциональную нагрузку. Для оценки индивидуального «исходного» уровня ребенка используется интегральный критерий следующего вида:

$$I_{\text{адапт}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \ln \frac{1}{P_1(x_j)} \quad (1)$$

где n – количество учитываемых переменных состояния;

$P_1(x_j)$ – вероятность отклонения переменной x_j от «предпочтительного» состояния. В качестве «предпочтительного» состояния объекта принято состояние, при котором значения всех переменных равны среднестатистическим значениям (для однородных групп обследуемых детей).

$$P_1(x_j) = P(|x_j - \bar{x}| < \delta) = 2\Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) - 1 \quad (2),$$

где $\bar{x}$ – среднее значение признака x_j ;

δ - величина отклонений текущего значения x_j от $\bar{x}$;

σ - среднее квадратическое отклонение признака x_j ;

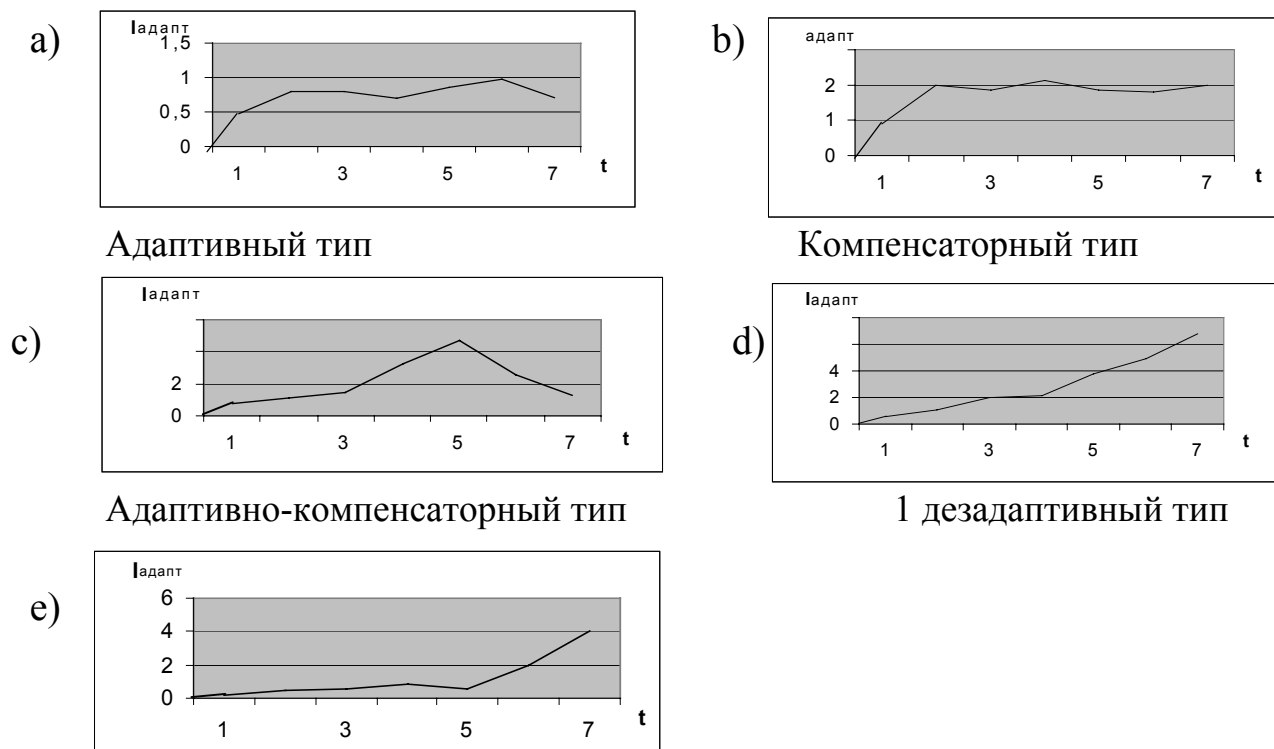
Φ – функция Лапласа.

Применение интегрального критерия для оценки состояния биообъекта (в данном случае состояния организма ребенка) предполагает существование пороговых значений, превышение которых соответствует переходу в новое состояние. В работе получены пороговые значения критерия $I_{\text{адапт}}$ для различных состояний объекта исследования: «адаптивная» норма, состояние «компенсация», состояние «напряжения» и «срыва адаптации».

Значение степени отклонения состояния ребенка от нормального функционирования в конкретный момент времени было принято в качестве значения некоторой функции от времени, а полученная дискретная функция рассматривалась как некоторая адаптационная характеристика (адаптационная стратегия организма ребенка в первые дни жизни).

Интегральный критерий (1) был использован для выявления адаптационных стратегий ребенка в первые дни жизни. В качестве физиологической нормы были приняты средние значения показателей кардиоинтервалометрии в каждый день раннего неонатального периода для однородных групп детей с благоприятным течением адаптации. Выделено 5 основных стратегий адаптации. На рис. 2

показаны пять типов функции $I_{\text{адапт}}(t)$, представляющей собой значения интегрального показателя в каждый день пребывания ребенка в роддоме.



2 дезадаптивный тип.

Рис.2. Типы функции $I_{\text{адапт}}(t)$ (адаптационные стратегии) в раннем неонатальном периоде.

Для автоматического определения типа адаптационной стратегии решалась задача выбора наиболее подходящего вида аппроксимирующей зависимости для функции $I_{\text{адапт}}(t)$. С помощью метода наименьших квадратов исследовалась эффективность аппроксимации различными функциями. Показано, что аппроксимацию построенных по критерию (1) функций $I_{\text{адапт}}(t)$ достаточно осуществлять при помощи полиномиальной функции $at^2 + bt + c$, производя классификацию на основе анализа значений коэффициентов a , b и c .

Известно, что для детей с неблагоприятным протеканием адаптационного процесса необходимо проведение оперативной оценки состояния здоровья детей с формированием корректирующей программы лечения. При решении задач подобного типа наиболее информативным является подход, при котором оценивается реакция ребенка на внешнее воздействие (нагрузочные пробы). Для детей в раннем неонатальном периоде наиболее подходящим типом воздействия является клиноортостатическая проба (КОП). КОП - это переход из

горизонтального в вертикальное положение и обратно. Показано, что, реакция на КОП есть переходная характеристика, позволяющая судить о резервах адаптации и потенциальных возможностях жизненно важных систем организма.

В диссертационной работе предложена интегральная характеристика для оперативной оценки состояния здоровья детей на основе анализа распределения R-R интервалов при проведении КОП. Показано, что для анализа изменения состояния ребенка по данным клиноортостатической пробы можно использовать информационную меру Кульбака, записанную в следующем виде:

$$I = \int_x \rho_1(x) \cdot \ln \frac{\rho_1(x)}{\rho_2(x)} dx \quad (3)$$

где $\rho_1(x)$ - плотность распределения переменной x в состоянии 1

$\rho_2(x)$ - плотность распределения переменной x в состоянии 2.

Представим непрерывные величины $\rho_1(x)$ и $\rho_2(x)$ в виде дискретных значений, постоянных на равновеликих интервалах отрезка $[a, b]$.

$$\text{Получим: } I = \sum_j \rho_1(x_j) \delta x \cdot \ln \rho_1(x_j) \delta x - \sum_j \rho_1(x_j) \delta x \ln \rho_2(x_j) \delta x \quad (4) ,$$

С учетом того, что $\rho(x_j) \delta x = P(x_j)$ на каждом интервале, выражение (4) можно представить в виде:

$$I = \sum_j P_1(x_j) \ln P_1(x_j) - \sum_j P_1(x_j) \ln P_2(x_j) = \sum_j P_1(x_j) \ln \frac{P_1(x_j)}{P_2(x_j)} \quad (5)$$

Поскольку данный критерий предполагается использовать для оценки типа реакции ребенка на клиноортостатическую пробу, обозначим I в выражении (5) как $I_{\text{КОП}}$ и запишем выражение (5) в следующем виде:

$$I_{\text{КОП}} = \sum_{j=1}^m P_1(x_j) \ln \frac{P_1(x_j)}{P_2(x_j)} \quad (6)$$

где m - количество разрядов гистограммы, полученных на отрезке $[a, b]$;

$P_1(x_j)$ – вероятность попадания значения R-R в i -ый разряд гистограммы до осуществления нагрузки (фон);

$P_2(x_j)$ – вероятность попадания значения R-R в i -ый разряд гистограммы после осуществления нагрузки.

Анализ, полученных с помощью критерия (6) значений функции $I_{КОП}$ для 312 обследованных детей при помощи кластерного анализа, позволил выявить 7 эталонных типов адаптационных кривых, приведенных в табл.1

Таблица 1

Типы реакции на клиноортостатическую пробу

тип функции $I_{КОП}$	График функции	Название
1		Субкомпенсированный тип реакции на КОП
2		Компенсированный тип реакции на КОП
3		Гиперкомпенсированный тип реакции на КОП
4		Декомпенсированный тип реакции на КОП
5		Модификация компенсированного типа реакции на КОП (компенсаторный)
6		Дезадаптивный тип реакции на КОП
7		Тип реакции на КОП «неполная компенсация»

Полученные в работе результаты о распределении типов адаптации детей (типов адаптационной функции $I_{КОП}$) в зависимости от степени тяжести состояния здоровья детей, приведены в таблице 2.

Распределение типов адаптационных функций $I_{\text{КОП}}$ в зависимости от степени тяжести состояния

Тип функции $I_{\text{КОП}}$	Функциональное состояние		
	Удовлетворительное	Среднее	Тяжелое
1	55	45	0
2	42	48	10
3	15	67	20
4	0	12	88
5	21	68	11
6	7	36	57
7	13	47	40

Эталонные типы функции $I_{\text{КОП}}(t)$ были занесены в базу знаний автоматизированной системы. При автоматическом определении типов адаптационных кривых каждая полученная функция $I_{\text{КОП}}(t)$ для исследуемого ребенка сравнивается с имеющимися эталонами. Тип реакции на клиноортостатическую пробу выбирается по максимальному значению коэффициента корреляции Спирмена с соответствующим эталоном.

В диссертационной работе также была исследована возможность использования подхода, предложенного и использованного О.Г.Чарояном для оценки по энтропии сердечного ритма влияния внешних воздействий (лекарственных препаратов) на организм взрослого человека для формирования адаптационных стратегий детей в раннем неонатальном периоде с учетом особенностей проведения КОП.

В результате получены адаптационные функции, отражающие тип реакции на клиноортостатическую пробу. В качестве значений данной функции использовалась величина энтропии сердечного ритма:

$$H_I = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i, \quad (7)$$

где P_i – вероятность попадания интервала R-R в i -ый разряд гистограммы;

n – количество разрядов гистограммы.

Для оценки динамики изменения энтропии показателей сердечного ритма при проведении клиноортостатической пробы было использовано отношение вида:

$N_{\text{проба}}/N_{\text{фон}}$. Полученные характеристики приведены на рис.3, где значения введенной функции $N_{\text{КОП}}$, соответствуют отношению:

1 точка – $N_{\text{фон}}$ к $N_{\text{фону}}$;

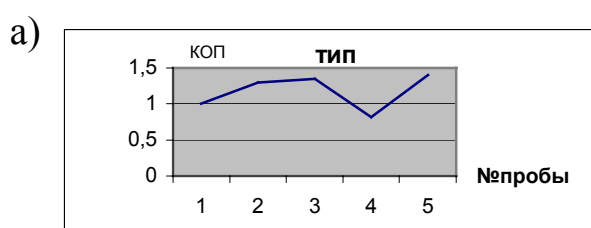
2 точка – $N_{\text{клиноортостаз}}$ к $N_{\text{фону}}$;

3 точка – $N_{\text{орт}}$ к $N_{\text{фону}}$;

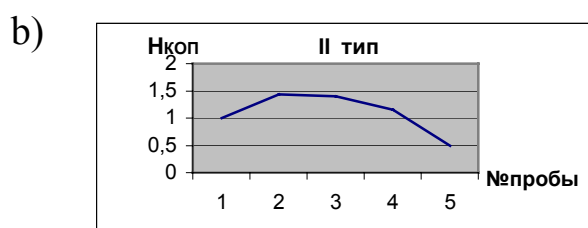
4 точка – $N_{\text{2орт}}$ к $N_{\text{фону}}$;

5 точка – $N_{\text{клиноорт}}$ к $N_{\text{фону}}$.

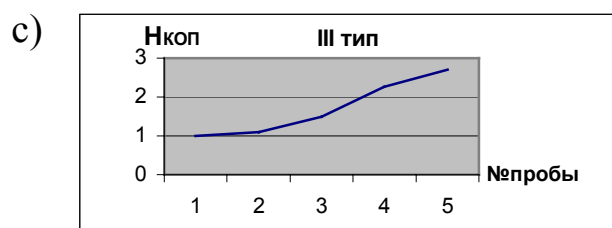
Анализ, полученных с помощью критерия (7) типов кривых $N_{\text{КОП}}$ с использованием кластерного анализа, позволил выделить из 16 основных типов динамики данных энтропийных показателей сердечного ритма лишь 5 универсальных типов адаптационных кривых.



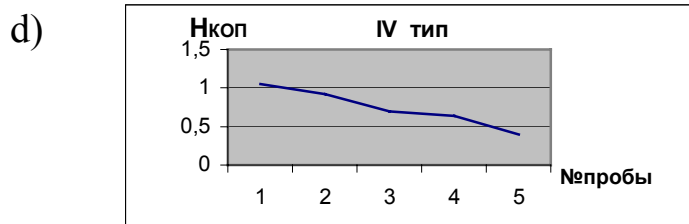
Субкомпенсированный тип адаптационной кривой



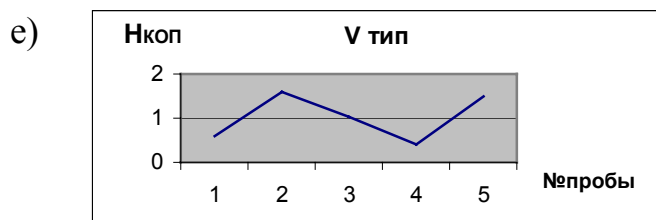
Компенсированный тип адаптационной кривой



Декомпенсированный тип адаптационной кривой



Гиперкомпенсированный тип адаптационной кривой



Дезадаптивный тип адаптационной кривой

Рис. 3. Типы реакции на клиноортостатическую нагрузку ($N_{\text{КОП}}(t)$).

Сравнительный анализ адаптационных стратегий, выявленных при использовании информационной меры $I_{\text{КОП}}$ и энтропийного критерия $N_{\text{КОП}}$ отразил тот факт, что стратегии адаптации качественно не различаются (полученные 5 типов адаптационной кардиоинтервалометрической кривой $N_{\text{КОП}}$ оказались аналогами

первым пяти типам адаптационной кривой $I_{\text{коп}}(t)$). Таким образом, полученные результаты повышают достоверность существования выявленных типов реакции на клиноортостатическую пробу. Предложенная в данной главе методика выявления адаптационных стратегий может быть успешно применена не только для детей в раннем неонатальном периоде, но и для любых задач оценки адаптационных стратегий организма человека.

Третья глава посвящена решению задач дифференциальной диагностики в случае неблагоприятного протекания адаптационного процесса. В работе решен целый комплекс задач дифференциальной диагностики: 1) определение степени тяжести состояния здоровья ребенка; 2) диагностика наиболее распространенных заболеваний: перинатальное поражение центральной нервной системы, внутречерепное кровоизлияние (ВЧК), врожденные пороки сердца, пневмопатия, менингит, гипотрофия; 3) определение степени заболевания .

Показано, что для успешного решения данных задач, применение информационных критериев (глава 2), позволяющих обрабатывать количественную информацию, недостаточно. Необходимо учитывать не только количественные, но и качественные признаки, нередко в условиях неполноты и нечеткости их задания. Разработана схема дифференциальной диагностики состояния здоровья детей с учетом вида диагностической информации (рис.4).

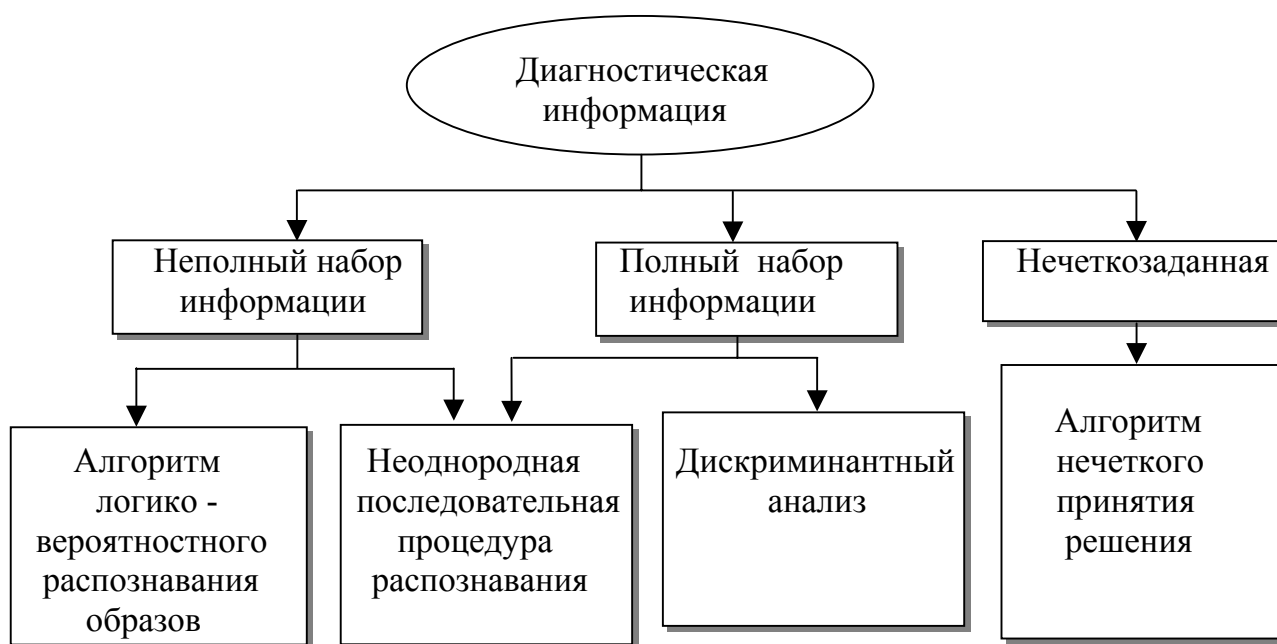


Рис.4. Схема применения алгоритмов и методов при дифференциальной диагностике

В диссертационной работе для решения задачи диагностики наиболее распространенных заболеваний среди детей раннего неонатального периода, в случае, когда существует возможность оперировать полным набором разнотипной информации, используется дискриминантный анализ.

В работе получены решающие правила в виде дискриминантных функций для диагностики наиболее распространенных заболеваний: перинатальное поражение центральной нервной системы (S_1), менингит (S_2), внутричерепное кровоизлияние (S_3), гипотрофия (S_4), обеспечивающие качество распознавания 70-74% в условиях полного задания информации:

$$S_1 = -14,75 + 0,23x_1 + 4,73x_2 - 0,5x_3 + 20,9x_4 + 21,69x_5 + 6,69x_6 + 9,78x_7 + 14,8x_8 + 10,8x_9 + 7,2x_{10} + 13,8x_{11} + 14,2x_{12} + 0,34x_{13} + 0,02x_{14} + 6,59x_{15} + 5,3x_{16} - 3,5x_{17} + 1,14x_{18}$$

$$S_2 = -15,69 + x_1 + 5,9x_2 + 1,3x_3 + 21,7x_4 + 23x_5 + 8,3x_6 + 12x_7 + 15,2x_8 + 10x_9 + 5,8x_{10} + 13,4x_{11} + 13,8x_{12} - 0,1x_{13} + 1,4x_{14} + 7,1x_{15} + 4,2x_{16} - 1,7x_{17} + 0,6x_{18}$$

$$S_3 = -16,43 + 1,2x_1 + 5,5x_2 + 0,8x_3 + 21,7x_4 + 22,4x_5 + 7,4x_6 + 10,8x_7 + 16,1x_8 + 10x_9 + 6,8x_{10} + 12,7x_{11} + 14,8x_{12} - 0,6x_{13} + 2x_{14} + 7,4x_{15} + 5x_{16} - 2,2x_{17} + x_{18}$$

$$S_4 = -14,95 + 0,55x_1 + 6,4x_2 + 0,7x_3 + 22,5x_4 + 23,7x_5 + 6,8x_6 + 10,3x_7 + 15,3x_8 + 10,5x_9 + 6,4x_{10} + 13,9x_{11} + 14x_{12} + 0,45x_{13} + 0,81x_{14} + 6,2x_{15} + 4,3x_{16} - 3,2x_{17} + 0,78x_{18},$$

где x_1 - x_5 – признаки, характеризующие анамнестические данные ребенка, x_6 - x_{10} – тип реакции ребенка на КОП, x_{11} - x_{18} – биологический и гинекологический анамнез матери.

Алгоритм логико-вероятностного принятия решения

С целью определения степени тяжести состояния здоровья детей и диагностики наиболее распространенных заболеваний в условиях неполноты исходной информации были разработаны и развиты алгоритмы, основанные на логико-вероятностном распознавании образов.

В основу алгоритма логико-вероятностного принятия решения легли следующие основополагающие моменты:

- ◆ Для представления знаний и данных используется матрица описаний Q , строки которой сопоставляются объектам из обучающей выборки, а столбцы - переменным состояния, задающим описание каждого объекта в виде $\{1, 0, -\}$;
- ◆ Матрица различений R задает принадлежность обучающих объектов классам, строки данной матрицы сопоставляются строкам матрицы Q , а столбцы - классификационным признакам;
- ◆ Непересекающиеся образы (диагнозы), представлены системой булевых функций $(f_1, f_2, \dots, f_m)$ в дизъюнктивной нормальной форме. При этом, исследуемый объект задается конъюнкцией z ;
- ◆ Каждую функцию f_i представляем дизъюнкцией двух функций $f_i = f_i' \vee f_i''$, где f_i' - функция, подлежащая ортогонализации, т.е. функция, каждая конъюнкция которой не ортогональна конъюнкциям z , а f_i'' - функция, все конъюнкции которой ортогональны конъюнкциям z . Для вычисления вероятности принадлежности объекта i -ому образу проводим ортогонализацию конъюнкций функций f_i' .
- ◆ Вычисления вероятности принадлежности распознаваемого объекта тому или иному классу (образу) осуществляется путем подстановки заданных вероятностей значений признаков в ортогонализированную часть функции f и замены операций конъюнкций и дизъюнкций на соответствующие арифметические умножения и сложения.

При проверке на контрольной группе ошибка распознавания таких заболеваний у детей, как перинатальное поражение центральной нервной системы, внутричерепное кровоизлияние, ателектазы легких, менингит, гипотрофия, составляет от 12 до 19%. Исходя из поставленной задачи, точность алгоритма логико-вероятностного распознавания образов можно считать удовлетворительной.

Неоднородная последовательная процедура.

Определения вида и степени заболевания в условиях полного и неполного описания исследуемого объекта осуществляется при помощи неоднородной последовательной процедуры распознавания (НППР).

В работе реализован алгоритм неоднородной последовательной процедуры распознавания и получены решающие правила в виде диагностических таблиц. Для иллюстрации ниже приведена таблица (табл.3) диагностических коэффициентов для диагностики перинатального поражения центральной нервной системы.

Таблица 3.

Таблица для диагностики перинатального поражения центральной нервной системы

Признак	Диапазон значений признака	ДК	Информативность
Хронические заболевания матери (гастрит, гепатит, пиелонефрит, тонзилит, холецистит)	Есть	2,09	0,26
	Нет	-1,33	
Степень доношенности ребенка	Доношенный	-3,2	1,73
	Недоношенный 1 степени	-2,0	
	Недоношенный 2 степени	1,98	
	Недоношенный 3-4 степени	3,8	
Исходный вегетативный тонус (ИВТ) ребенка ваготонический	Ваготонический	-4,67	0,63
	Эйтонический	0,34	
	Симпатикотонический	-0,44	
	Гиперсимпатикотонический	1,29	
Вегетативная реактивность (ВР)- нормотоническая	Нормотоническая	-1,4	0,87
	Гиперсимпатикотоническая	0,96	
	Асимпатикотоническая	3,01	
Восстановительный период (ВП) - нормотонический	Нормотонический	-2,04	0,59
	Симпатикотонический	-0,7	
	Реакция утомления	3,67	
Артериальное давление	Умеренное понижение	-1,24	0,33
	Норма	3,8	
	Резкое увеличение	1,43	
	Спад	-2,64	
Частота сердечного ритма	Норма	-5,23	1,37
	Умеренная тахикардия	2,41	
	Значительная тахикардия	1,66	
	Брадикардия	2,04	
Тип реакции на клиноортостатическую пробу	Адаптивный (I тип)	3,46	1,45
	Адаптивно-компенсаторный (II тип)	-0,69	
	Компенсаторный (III тип)	-1,23	
	Деадаптивный (IV тип)	4,22	
	Модификация деадаптивного (V тип)	2,43	

Качество распознавания (при проверке работоспособности решающего правила) на контрольной выборке из 160 человек составило 80-86% в условиях неполной исходной информации.

Алгоритм принятия решения в условиях, когда значения части признаков известны в некотором диапазоне значений

Алгоритм нечеткого принятия решения является развитием алгоритма логико-вероятностного принятия решения. Он позволяет принимать решения, связанные с определением степени тяжести состояния здоровья ребенка и определением вида и степени заболевания в условиях, когда значения части переменных состояния объекта, задаются в некотором диапазоне значений.

Идея алгоритма нечеткого принятия решения состоит в следующем:

- ✓ На 1-ом этапе вычисляем вероятность $P_z^{f_i}$ принадлежности состояния здоровья ребенка (распознаваемого объекта) к тому или иному классу (диагнозу) на границах интервала по каждой переменной.
- ✓ На 2-ом этапе проверяем принадлежность объекта на границах интервала одному образу.
- ✓ Если полученные на 1-ом этапе значения вероятности указывают на то, что исследуемый объект относится к одному образу (диагнозу), то далее вычисляем вероятность в точке разбиения, вычисленной путем деления пополам интервалов нечетко заданных переменных. Точка разбиения может быть отнесена как к одному, так и к другому подинтервалу; она является верхней границей одного из них и нижней границей другого. Повторяем описанную процедуру k раз. Величина k определяется экспериментально.
- ✓ В противном случае, находим значения нечетко заданных переменных, при которых объект равновероятно принадлежит разным образам. Далее вычисляем значения вероятности принадлежности объекта к тому или иному классу (диагнозу) в точках, равноотдаленных от границ интервалов и точки, в которой объект одинаково принадлежит разным образам, и принимаем решение в пользу образа, на котором объект имеет максимальное значение вероятности $P_z^{f_i}$. Далее применяем процедуру

деления полученных подинтервалов и вычисления $P_z^{f_i}$ аналогично способу, приведенному на предыдущем шаге.

Разработанный алгоритм принятия решения в условиях, когда значения части признаков известны в некотором диапазоне значений, позволяет обеспечить качество распознавания 80-86% при диагностике функционального состояния организма детей в раннем неонатальном периоде

Четвертая глава посвящена описанию разработанного программного комплекса, реализующего вышеперечисленные методы и алгоритмы.

В ходе реализации программных компонент программного комплекса «Здоровье» широко использовались методы структурного и нелинейного программирования, а, также, объектно-ориентированного проектирования.

Программные компоненты были реализованы с использованием языка C++ в среде быстрой разработки приложений C++ Builder.

При проектировании программного комплекса использовался метод узлов.

Данный метод позволяет работать с разнородной информацией на входе и имеет несколько выходов, на которых формируются промежуточные результаты. Такой метод позволяет оценить и сопоставить результаты, получаемые различными узлами. Разработанный комплекс программ, лежащий в основе первого узла, позволяет классифицировать тип реакции ребенка на внешние воздействия, прогнозировать изменения его состояния и упреждать осложнения путем формирования корректирующей программы лечения. При этом используются информационные интегральные критерии. Полученные на выходе 1-ого узла результаты, поступают на вход второго узла.

Комплекс программ, лежащих в основе второго узла автоматизированной системы «Здоровье» позволяет решить задачу дифференциальной диагностики. С этой целью реализованы алгоритмы логико-вероятностного принятия решения и неоднородная последовательная процедура распознавания.

Архитектура программного комплекса разработана таким образом, что каждый узел системы, состоит из функциональных модулей, имеющих возможность работы в двух режимах:

1. В автономном режиме. Модуль выполняется как отдельное приложение и служит для решения конкретной задачи.

2. В составе интегрированной программной среды, предназначенной для комплексной диагностики и прогнозирования уровня здоровья.

Модификация комплекса с целью расширения функциональных возможностей может производиться путем модификации отдельных модулей либо путем добавления новых программных компонент.

В диссертационной работе описывается система подготовки данных и формирование базы знаний. Описывается комплекс программ системы. Приводится инструкция пользователя программного комплекса «Здоровье».

Выводы

Исследования, проведенные в диссертационной работе, были направлены на решение актуальных задач, связанных с разработкой алгоритмов для оценки уровня здоровья детей раннего возраста.

Основные результаты работы:

1. Разработаны модели выявления скрытых закономерностей в структуре сердечного ритма на основе интегральных критериев, позволяющие получить информацию об адаптационных возможностях организма ребенка в раннем неонатальном периоде.
2. На основе информационной модели сердечного ритма выявлены типы адаптационных реакций организма ребенка в раннем неонатальном периоде, позволяющие оперативно оценивать текущее состояние и соответственно принимать решения о необходимых мерах коррекции состояния.
3. Разработаны алгоритмы и программы для диагностики и прогнозирования функционального состояния организма детей раннего неонатального периода, обеспечивающие качество распознавания 75-82% в условиях полного и неполного, а также нечеткого задания исходной информации (дискриминантный анализ, алгоритмы логико-вероятностного принятия решения, неоднородная последовательная процедура распознавания).

4. Разработан программный комплекс, представляющий собой интеллектуальную советующую систему для оперативной оценки состояния детей в раннем неонатальном периоде и принятия решений по коррекции состояния ребенка.
5. Все перечисленные программы включены в состав программного обеспечения автоматизированного комплекса для диагностики состояния детей, внедренного в отделении патологии новорожденных детской больницы №1 г.Томска.
6. Алгоритмическое и программное обеспечение внедрено в учебном процессе.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

1. Гергет О.М. Автоматизированная система оценки состояния детей в раннем неонатальном периоде// Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы: Тез. докл. Всероссийск. науч.-тех. конф. студентов, молодых ученых и специалистов.- Рязань, 1998.-С.52-53.
2. Гергет О.М., Астахова Е.Д. Автоматизированная система для оценки состояния детей в раннем неонатальном периоде по данным кардиоинтервалографии// Современные техника и технологии. Труды V науч.-практич. конф.- Томск, 1999.- С.366-368.
3. O.M.Gerget, O.G.Berestneva. Systems of experts for evaluating the prognosis of children state in the early new-born period// Abstracts the Third Russian-Korean International Symposium on Science and Technology (Korus'99). June 22-25, 1999 at Novosibirsk state Thechnical; University. Novosibirsk Russia.- Vol.1.- Novosibirsk, 1999.- P.286.
4. Берестнева О.Г., Гергет О.М., Астахова Е.Д. Компьютерная система оценки состояния новорожденных детей// Компьютерные технологии в науке, проектировании и производстве: Тез. докл. I Всероссийск. науч.-тех. конф.- Ч.XVII.- Нижний-Новгород, 1999.- С.33.
5. Гергет О.М., Берестнева О.Г. Автоматизированная система оценки состояния новорожденных детей// Информационные базы данных в медицине.

- Мониторинг здоровья населения и окружающей среды-99: Международный симпозиум, Египет, Хургада, 17-24 апреля 1999: Тез. докл.- М., 1999.- С.124-125.
6. Гергет О.М., Янковская А.Е. Подсистема принятия решения, основанная на логико-вероятностном распознавании образов// 7-ая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием.- Т.2.- М.: Изд-во физико-математической литературы, 2000.- С.663-669.
 7. Гергет О.М. Оценка нестабильных состояний однородных объектов на основе логико-вероятностных выводов// Энергетика: экология надежность безопасность: Материалы докладов VI Всероссийск. науч.-технич. конф.- Т. 2.- Томск, 2000.-С.325-328.
 8. Берестнева О.Г, Гергет О.М., Михалев Е.В., Янковская А.Е. Оценка и прогнозирование состояния здоровья недоношенных новорожденных на основе энтропийных критериев с использованием информационных технологий// Информационные технологии и интеллектуальное обеспечение в здравоохранении и окружающей среде: Международный симпозиум, Турция: Тезисы докладов.- М., 2000.- С.85-87.
 9. Янковская А.Е., Гергет О.М. Интеллектуальная подсистема логико-вероятностного распознавания с размытием образов// Информационные системы и технологии. Межд. науч.-технич. конф.- Новосибирск, 2000.- С.548-551.
 10. Янковская А.Е., Гедике А.И., Аметов Р.В., Блейхер А.М., Гергет О.М., Муратова Е.А., Кузоваткин А.Н. Интеллектуальная система ИМСЛОГ// Новые информационные технологии в исследовании дискретных структур. Доклады III Всероссийск. конф. с межд. участием.- Томск, 2000.-С.169-175.
 11. О.Г.Берестнева, О.М.Гергет, Н.Ю.Фаст. Применение компьютерных технологий при анализе уровня здоровья детей в первые дни жизни// Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических: Материалы межд. науч.-практ. конф.- Ч.4.-Новочеркасск, 2000.- С.22-24.

12. Янковская А.Е., Гергет О.М. Интеллектуальная подсистема обработки медицинской информации, основанная на логико-вероятностных методах: Сб. тр. междунар. практического семинара// Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте.- М.:Наука. Физматлит, 2001.-С. 279-284.
13. Янковская А.Е., Гергет О.М. Нечеткое принятие решения в интеллектуальных системах// Знание, диалог, решения. Труды межд. науч.-практ. конф.- Т.2.- С-Пб., 2001.- С.653-660.
14. Гергет О.М., Зиновик Т.Г. Компьютерная система принятия решения в медицине на основе логико-вероятностного подхода// Современное развитие и применение математических методов.- Томск: Изд-во ТПУ, 2001.-С.12-19.
15. Гергет О.М., Фаст Н.А., Лой Т.В. Оценка и прогнозирование состояния детей раннего возраста на основе математического анализа сердечного ритма// Современное развитие и применение математических методов.- Томск: Изд-во ТПУ, 2001.-С.20-27.
16. Берестнева О.Г., Гергет О.М. Компьютерная система диагностики состояния здоровья детей раннего возраста// Современная техника и технологии в медицине и биологии: Материалы межд. науч.-практ. конф.- Новочеркасск, 2001.- С.4-5.
17. Берестнева О.Г., Гергет О.М., Михалев Е.В., Янковская А.Е. Применение логико-вероятностного подхода в интеллектуальной системе диагностики состояния детей раннего возраста// Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы.- 2001.-№3(7).- С. 18-30.

