

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ И МОНИТОРИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИ И ПЛОДА

Я.С. Пеккер\*, Е.Ю. Киселева, И.В. Толмачев\*

Томский политехнический университет  
\*Сибирский государственный медицинский университет  
E-mail: kiseleva\_eka@tpu.ru

*Разработан программный комплекс для оценки состояния системы «мать-плод», рассмотрена работа программных приложений комплекса: базы данных для хранения информации о пациентках; программы регистрации, накопления и обработки сигналов, полученных с абдоминальных электродов; программы для построения решающих правил. Проведены исследования на базе НИИ акушерства, гинекологии и перинатологии СО РАМН (г. Томск), позволившие определить наличие или отсутствие гипоксии плода.*

### Ключевые слова:

*Фетальный монитор, мониторинг, гипоксия, обработка сигналов, слепое разделение сигналов.*

Мировой рынок медицинского оборудования насыщен ультразвуковыми фетальными мониторами, служащими для оценки состояния плода как в интранатальном, так и в антенатальном периодах. Ультразвуковое воздействие, несмотря на накладываемые ограничения по мощности излучения и времени обследования, не может считаться абсолютно безопасным. До сих пор ведутся споры о последствиях ультразвукового зондирования.

В связи с этим существует необходимость в использовании приборов для неинвазивной и пассивной оценки состояния плода. Одним из наиболее информативных показателей состояния плода, является сердечный ритм.

Нами разработан программный комплекс для пассивной и неинвазивной оценки состояния плода [1], основанный на регистрации электрического сигнала с абдоминальных электродов, накладываемых на живот беременной. Работа аппаратной части комплекса подробно описана в [2].

Разработанную программную часть комплекса можно представить в виде структурной схемы (рис. 1), которая включает программные продукты:

1. *Базу данных (БД) для хранения информации о пациентках.* Структура БД соответствует стандартной истории беременности и включает общие данные, анамнез, диагноз и параклинические данные (программное приложение PregnancyDB).
2. *Программу регистрации, накопления и обработки сигналов, полученных с абдоминальных электродов* (программное приложение FetalECG).
3. *Систему поддержки принятия решений (СППР)*, которая на основе набора любых параметров записанных в БД строит решающие правила, используя алгоритмы классификации: перцептрона, минимума геометрического расстояния и байесовского классификатора (программное приложение Recognition).

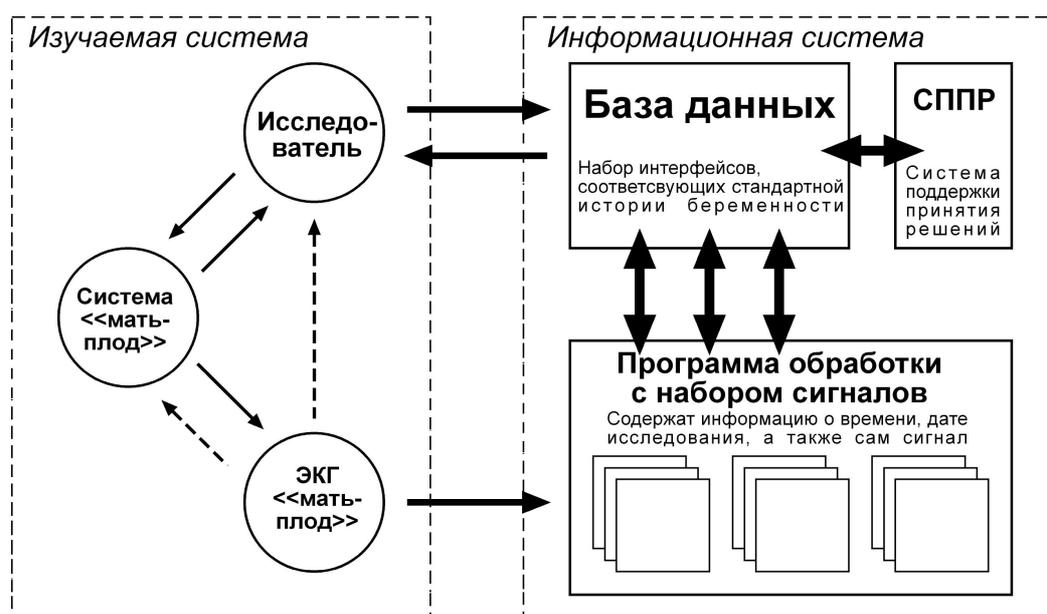


Рис. 1. Схема информационной системы

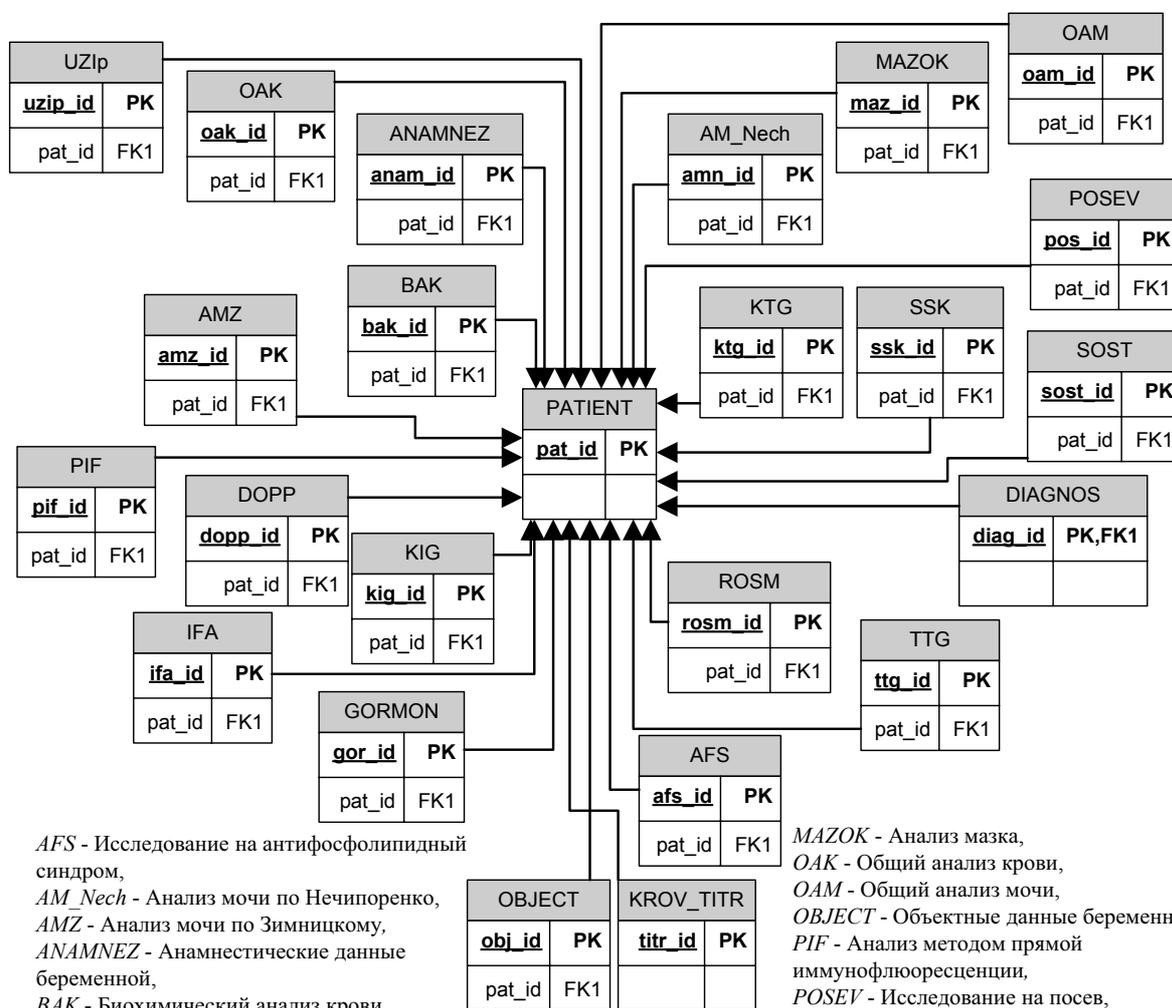
Приложение PregnancyDB позволяет пользователю медицинской информационной системы осуществить весь комплекс мероприятий, связанных с ведением беременных. Для этой цели был разработан удобный интерфейс, позволяющий осуществить быстрый ввод информации, а также отследить полноту проведения обследований и мероприятий, касающихся пациента. Основными требованиями, предъявляемыми к программе, являлись: совместимость с операционной системой MS Windows и интуитивно понятный интерфейс, не требующий глубоких навыков работы с компьютером.

БД PregnancyDB выполняет следующие функции:

- хранение общих данных о пациентах;
- хранение данных анамнеза, инструментальных и лабораторных исследований;

- учет посещений врачей пациентами;
- поиск пациентов по фамилии;
- предоставление по запросу пользователя интересующей информации о пациенте;
- формирование отчетов, выписок и тематических карт.

База данных разработана на основе реляционной модели, поскольку отличительной чертой реляционной модели базы данных является взаимосвязь нескольких таблиц данных по определенным полям-индексам (первичные и внешние ключи). Установленные таким образом связи дают возможность судить о сложности базы данных, не уточняя подробностей структурных построений и свойств полей таблицы.



*AFS* - Исследование на антифосфолипидный синдром,  
*AM\_Nech* - Анализ мочи по Нечипоренко,  
*AMZ* - Анализ мочи по Зимницкому,  
*ANAMNEZ* - Анамнестические данные беременной,  
*BAK* - Биохимический анализ крови,  
*DIAGNOS* - Диагноз пациентки,  
*DOPP* - Допплеровское исследование,  
*GORMON* - Анализ крови на гормоны,  
*IFA* - Иммуноферментный анализ,  
*KIG* - Исследование методом кардиоинтервалографии,  
*KROV\_TITR* - Анализ крови на титр антител,  
*KTG* - Исследование методом кардиотокографии,

*MAZOK* - Анализ мазка,  
*OAK* - Общий анализ крови,  
*OAM* - Общий анализ мочи,  
*OBJECT* - Объектные данные беременной,  
*PIF* - Анализ методом прямой иммунофлюоресценции,  
*POSEV* - Исследование на посев,  
*ROSM* - Результаты осмотра беременной,  
*SOST* - Состояние беременной на момент поступления в стационар,  
*SSK* - Анализ крови на свертывающую систему,  
*TTG* - Исследование крови тестом на толерантность к глюкозе,  
*UZIp* - Ультразвуковое исследование плода.

**PK – первичный ключ**  
**FK – внешний ключ**

Рис. 2. Схема базы данных приложения PregnancyDB

Информативность и функциональность базы данных определяется набором таблиц, каждая из них – набором полей. Схема базы данных, содержащая все таблицы и связи между ними, показана на рис. 2.

Центральной таблицей базы данных PregnancyDB является таблица PATIENT, в которой хранятся паспортные данные пациента. Эта таблица является главной (родительской) по отношению к подчиненным (дочерним) таблицам DIAGNOS, AMZ, AM\_NECH, ANAMNEZ, BAK, GORMON, KIG, KROV\_TITR, KTG, MAZOK, OAK, OAM, PATIENT, POSEV, SOST, TTG и UZIP. Связь между таблицами происходит по типу *один ко многим*. Это значит, что одной записи таблицы PATIENT соответствует несколько записей в одной или нескольких подчиненных таблицах. Исключение составляет таблица DIAGNOS, связь с которой осуществляется отношением *один к одному* (одной записи родительской таблицы соответствует одна запись дочерней). Поле связи таблиц является – Pat\_ID.

Для разработки интерфейса пользователя БД использовался стандартный пакет Borland Delphi 7. SQL-запросы осуществляются с помощью сервера баз данных Interbase Server.

Разработанная БД PregnancyDB осуществляет хранение не только информации, полученной от стандартных методов исследований, но также данные о интервальных характеристиках сердечного ритма плода [3], выделенного с помощью метода слепого разделения сигналов программным приложением FetalECG.

Чтобы произвести обработку и выделение сердечного ритма плода, был выбран метод «слепого разделения сигналов» (анализ независимых компонент). Суть данного метода заключается в том, что сигнал ЭКГ, измеренный в любой точке на теле матери, может быть представлен как линейная суперпозиция трех ортогональных сигналов. Аналогичным образом можно определить подпространство источников ЭКГ плода (ЭКГП).

Наблюдение этих сигналов на поверхности тела матери производится с использованием некоторого количества пространственно разнесенных приемников, при этом результатами измерения являются разности потенциалов между парами электродов, расположенными на поверхности тела.

Для низкочастотных сигналов, какими являются ЭКГ-сигналы, тело является абсолютно проводящей и линейной средой с высокой скоростью распространения электрического сигнала. В результате, наблюдаемое в каждой точке поверхности тела колебание может быть представлено как линейная комбинация сигналов сердечных источников и аддитивной помехи.

Можно предположить, что сигналы источников, по причине физической независимости определяющих их биоэлектрических явлений, статисти-

чески независимы. По тем же соображениям шумовые компоненты, также можно считать статистически независимыми в разных каналах, а также независимыми от источников сигналов.

Таким образом, задача разделения ЭКГ матери и плода может быть сформулирована следующим образом: по наблюдаемым измерениям необходимо совместно определить смешивающую (ковариационную) матрицу, а затем сигналы источников.

Под формулировкой «слепое» при разделении сигналов понимается то, что о характере разделяемых источников, свойствах излучаемых ими сигналов и условиях смешивания сигналов источников имеется минимальное количество информации. Эта минимальная информация обычно состоит в предположении о статистической независимости источников сигналов, постоянстве коэффициентов смешивающей матрицы на интервале наблюдения.

Исходя из этого, был разработан алгоритм программного приложения (рис. 3).

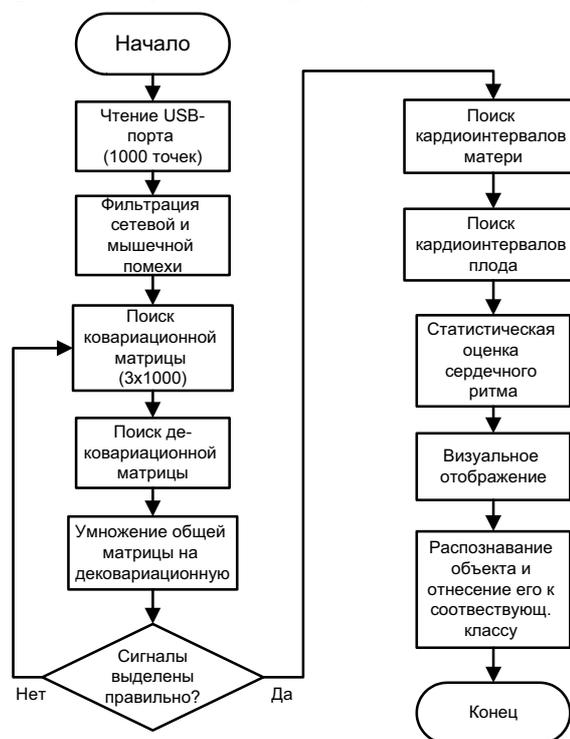


Рис. 3. Блок-схема алгоритма программы обработки сигналов

На основе алгоритма, представленного на рис. 3, в среде Borland Delphi 7 было разработано программное приложение FetalECG.

Интерфейс пользователя (рис. 4) позволяет проводить обработку заранее записанных, либо поступающих с прибора в реальном времени сигналов.

Выполняемые задачи программного приложения FetalECG:

- обеспечение связи посредством USB интерфейса между прибором и компьютером;

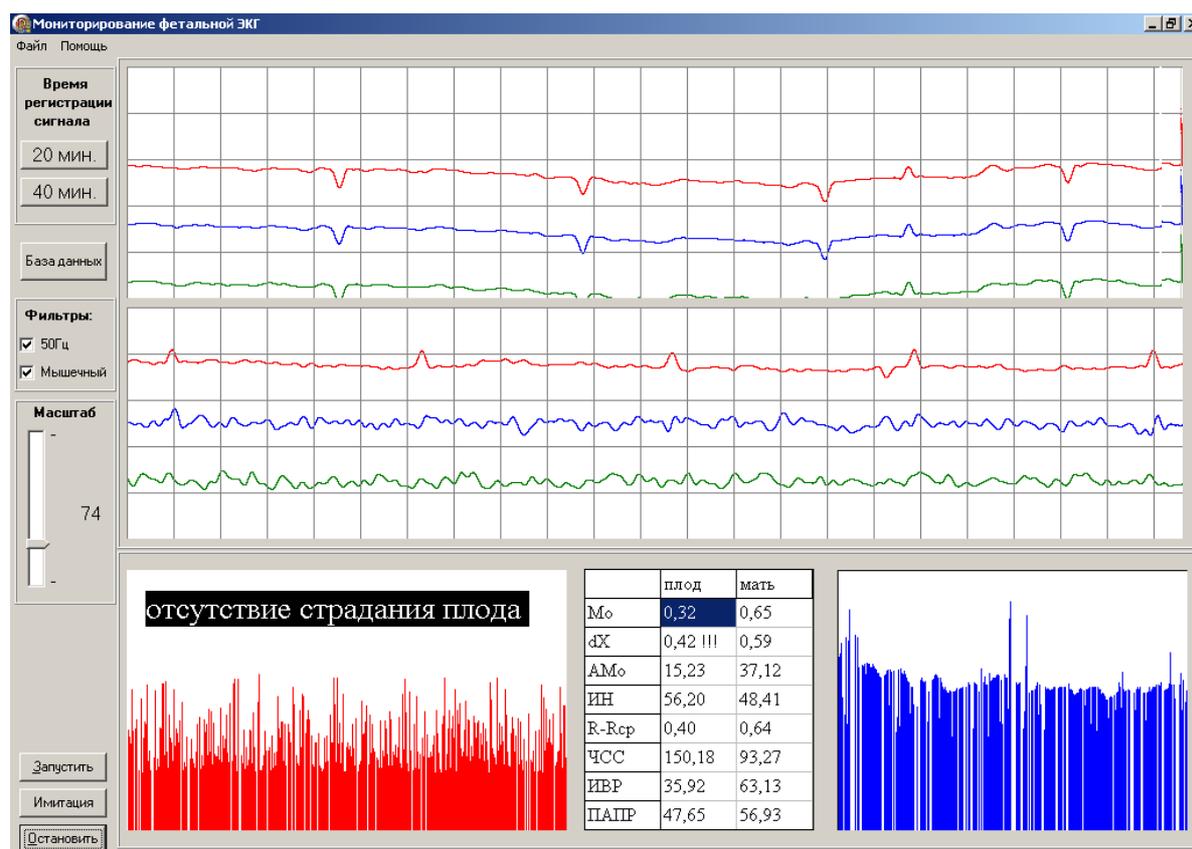


Рис. 4. Внешний вид программного приложения FetalECG

- фильтрация сигналов, полученных с абдоминальных электродов от сетевой и мышечной помех;
- разделение сигналов в режиме реального времени на «материнский» сигнал и сигнал плода;
- поиск интервальных характеристик ритма матери и ритма плода;
- вывод информации о состоянии плода на основе решающего правила.

Следующим шагом была разработка программы Recognition, позволяющая пользователю выводить решающие правила для классификации новых пациенток на основе накопленной в БД информации, используя алгоритмы классификации: перцептрона, минимума геометрического расстояния и байесовского классификатора [4, 5]. Алгоритм системы поддержки принятия решения представлены на рис. 5.

Одним из основных требований к СППР является возможность работы как с качественными (номинальная, порядковая шкалы), так и с количественными данными (интервальная, абсолютная шкалы). Данное требование было учтено при разработке программного приложения Recognition.

Разработанный в среде Borland Delphi 7 интерфейс пользователя (рис. 6) позволяет проводить импорт данных из базы данных PregnancyDB для последующей их обработки.

СППР Recognition выполняет следующие функции:

- формирование на основе импортированных данных классов объектов;
- построение решающих правил на основе алгоритмов классификации: перцептрона, минимума геометрического расстояния и байесовского классификатора;
- классификацию выбранных объектов на основе выведенных решающих правил;
- расчет характеристик полученных решающих правил, с последующим выбором оптимального.

Нами было проведено исследование выявления значимых показателей интервальных характеристик сердечного ритма плода на базе ГУ НИИ акушерства, гинекологии и перинатологии СО РАМН (г. Томск). При помощи разработанного программно-аппаратного комплекса обследовано 77 беременных, из них 42 – с наличием (опытная группа), а 35 – с отсутствием гипоксии плода (контрольная группа) по показаниям кардиотокографии (КТГ). По результатам исследования был проведен статистический анализ полученных данных для выявления значимых характеристик сердечного ритма плода, аналогичных показателям методики Р.М. Баевского, но применимо к плоду и беременной, таблица.

Исходя из представленных данных, был сделан вывод о том, что статистически не значимым для

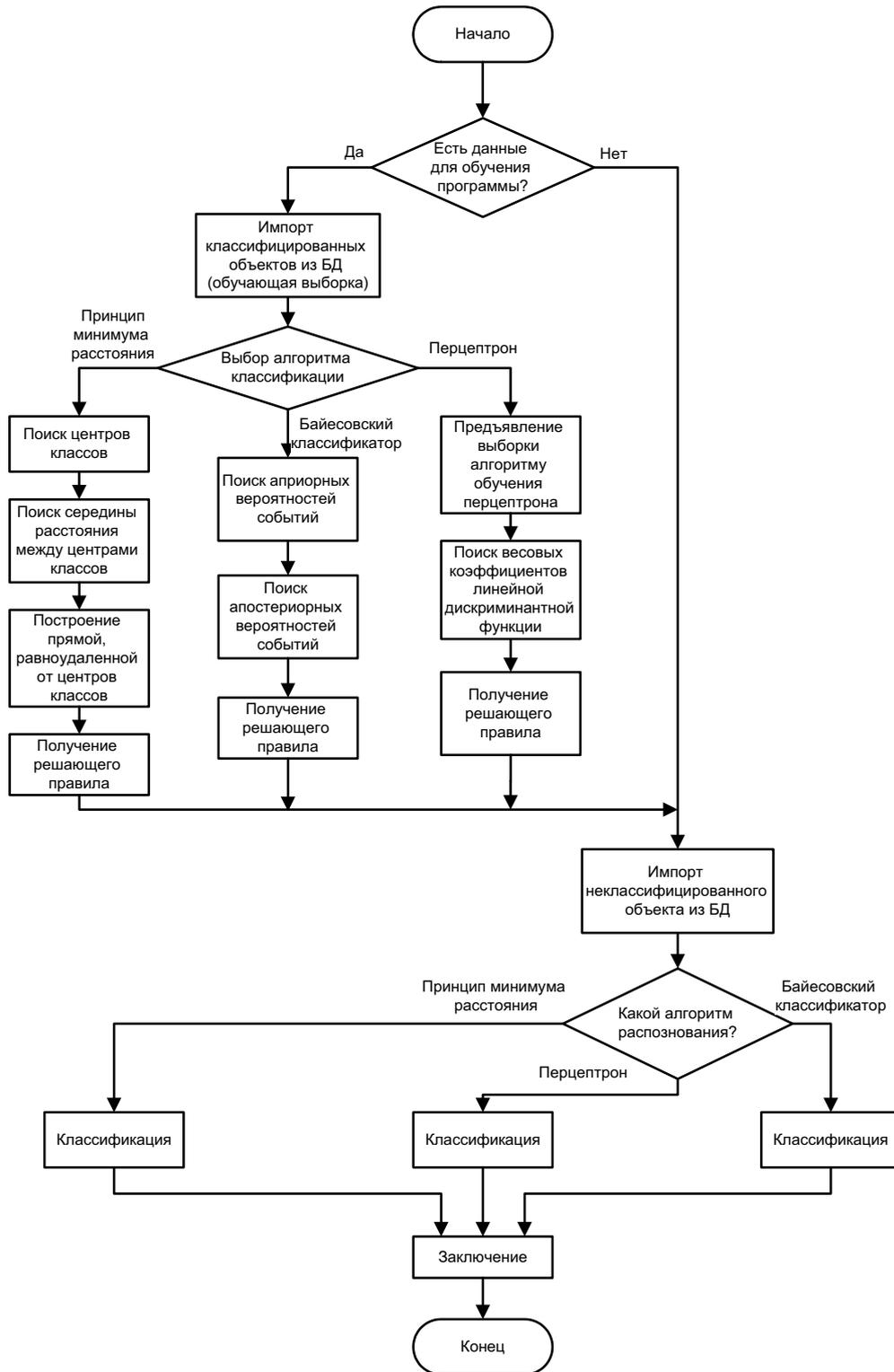


Рис. 5. Блок-схема алгоритма СПАР

выборки является только вариационный размах сердечного ритма плода, а по остальным характеристикам можно судить о наличии или отсутствии гипоксии плода.

### Выводы

1. Разработано программное обеспечение для оценки состояния системы «мать-плод», включающая базы данных для хранения информа-

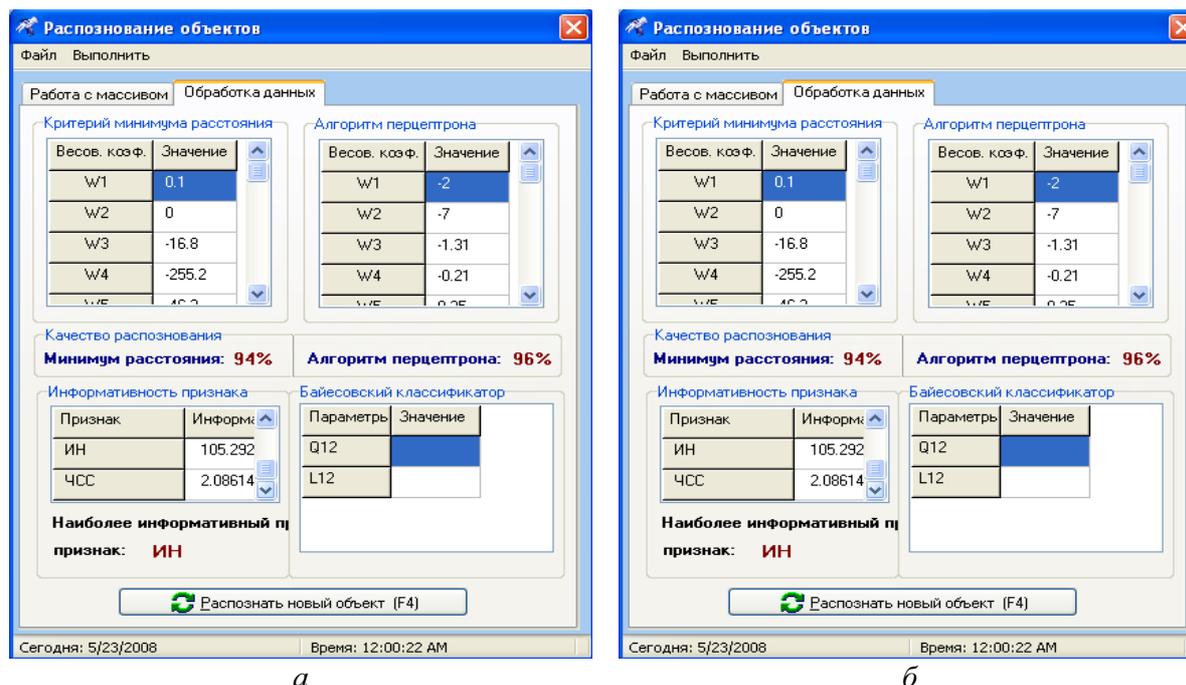


Рис. 6. Обработка параметров, импортированных из БД, (а) и сравнение различных методов классификации (б)

Таблица. Показатели интервальных характеристик сердечного ритма плода для групп: отсутствие или наличие гипоксии по показаниям КТГ

Показатели	Наличие гипоксии плода, Ме, ( $Q_1-Q_3$ )		Уровень значимости $p_{1-2}$
	Да	Нет	
Мода сердечного ритма плода ( $M_o$ )	0,45 (0,43–0,46)	0,38 (0,36–0,41)	<0,001
Вариационный размах сердечного ритма плода ( $dX$ )	0,15 (0,13–0,17)	0,14 (0,12–0,15)	0,056
Амплитуда моды сердечного ритма плода ( $AM_o$ )	21,28 (20,61–22,14)	29,59 (29,09–30,46)	<0,001
Индекс напряжения сердечного ритма плода (ИН)	54,61 (40,78–72,07)	89,35 (75,10–98,82)	<0,001
Частота сердечных сокращений плода (ЧСС)	142 (136–151)	166 (161–173)	<0,001

ции о пациентках; программы регистрации, накопления и обработки сигналов, полученных с абдоминальных электродов; программы для построения решающих правил.

2. Проведен статистический анализ полученных данных для выявления значимых характеристик

сердечного ритма плода, аналогичных показателям методики Р.М. Баевского.

3. Проведены исследования на базе НИИ акушерства, гинекологии и перинатологии СО РАМН (г. Томск), позволившие определить значимые параметры, отражающие наличие или отсутствие гипоксии плода на момент обследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. на ПМ 79768 РФ. МПК<sup>8</sup> А61В 5/04. Устройство для регистрации сердечного ритма плода с абдоминальных электродов / Я.С. Пеккер, К.С. Бразовский, И.В. Толмачёв, Е.Ю. Киселева, Л.А. Агаркова, Н.А. Габитова. – Оpubл. 20.01.2009, бюл. № 2.
2. Гузова Е.Е., Киселева Е.Ю., Толмачев И.В. Прибор для оценки состояния плода по электрокардиографическому сигналу матери и плода // Современные техника и технологии: Труды XIV Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008 – Т. 1. – С. 466–467.

3. Абзалова Н.А. и др. Оценка адаптационных возможностей доношенного плода на основе КИГ // Сибирский медицинский журнал. – 2007. – Т. 22. – № 2. – С. 30–34.
4. Пеккер Я.С., Фокин В.А. Анализ и обработка медико-биологической информации. – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 160 с.
5. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440 с.

Поступила 17.04.2009 г.